

ISSN 1682-721X

МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ MINERAL RESOURCES of UKRAINE УКРАЇНИ



ISSN 1682-721X



9 771682 721002



НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC JOURNAL

1'2020

МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ

Науковий журнал, виходить 4 рази на рік,
березень, 2020 р.
Видається з 01.03.1994 р.

MINERAL RESOURCES OF UKRAINE

Scientific journal, is published 4 times per year,
March, 2020
Published since 01.03.1994

УДК 55(477)(051)
ББК 26.3(4УКР)Я5
М61

ЗАСНОВНИК / FOUNDER

Український державний геологорозвідувальний інститут
Ukrainian State Geological Research Institute

Зареєстровано в Державній реєстраційній службі
України, свідоцтво про державну реєстрацію
серія КВ № 23790-13630ПР від 15.03.2019 р.

Registered in the State Registration Service of Ukraine,
certificate of state registration
КВ № 23790-13630ПР dated 15.03.2019

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР / EDITOR-IN-CHIEF

Георгій Ілліч Рудько
Georgii Illich Rudko

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ / EDITORIAL TEAM

С. В. Гошовський / S. Goshovskyi
(заст. головного редактора / Deputy editor)
О. В. Зур'ян / O. Zurian
(заст. головного редактора / Deputy editor)
С. О. Некрасова / S. Nekrasova
(відповідальна секретарка / Executive secretary)

В. І. Бондаренко / V. Bondarenko, Ю. І. Войтенко / Yu. Voitenko,
Л. В. Ісаков / L. Isakov, М. М. Костенко / M. Kostenko,
О. В. Кравченко / O. Kravchenko, М. Д. Красножон /
M. Krasnozhon, Е. Д. Кузьменко / E. Kuzmenko,
Я. Г. Лазарук / Ya. Lazaruk, Н. Г. Люта / N. Lyuta,
Г. Г. Лютий / G. Lyutyi, О. І. Ляшенко / O. Liaschenko,
В. А. Михайлов / V. Mykhailov, О. В. Плотніков /
O. Plotnikov, О. М. Пономаренко / O. Ponomarenko,
В. Л. Приходько / V. Prykhodko, Г. І. Рудько / G. Rudko,
В. В. Сукач / V. Sukach, В. М. Хоменко / V. Khomenko,
М. М. Шаталов / M. Shatalov, Є. О. Яковлев / Ye. Yakovlev

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЯ / INTERNATIONAL EDITORS:

Ад. А. Алієв / Ad. Aliyev, М. М. Зінчук / M. Zinchuk,
Лін Лі / Lin Li, А. Пестржинський / A. Piestrzynski,
Т. Тодоров / T. Todorov, В. Вімблдон / W. Wimbledon,
А. Шашмаз / A. Şaşmaz, Шенжі Юнг / Chenggui Jing

Відповідальний за випуск / Responsible for the issue
М. М. Костенко / M. Kostenko

У разі передруку посилання на
“Мінеральні ресурси України” обов'язкове

In the case of the reprint – reference to
“Mineral Resources of Ukraine” is obligatory

Рекомендовано до друку вченою радою УкрДГРІ
протокол № 4 від 26.12.2019 р.

Видавництво УкрДГРІ, свідоцтво про державну
реєстрацію № 182 серія ДК від 18.09.2000 р.
04114, м. Київ, вул. Автозаводська, 78А

Publisher UkrDHRI, Certificate of state
registration № 182 series DK dated September 18, 2000
04114, Kyiv, str. Avtozavodska, 78A

Наукове видання внесено до переліку наукових
фахових видань України категорії “Б” з геологічної
й технічної галузей науки, спеціальності – 103, 184, 185

Наказ Міністерства освіти та науки України
№ 409 від 17.03.2020 р.

Журнал індексується в Google Scholar.
2016 року його зареєстровано в системі
Index Copernicus з індексом ICV2018 = 75,87.
З лютого 2019 р. журнал унесено в базу DOAJ.

Адреса редакції: 04114, м. Київ, вул. Автозаводська, 78А

© УкрДГРІ, 2020

1/2020

ЗМІСТ / CONTENTS

**СУКАЧ В. В., РЯЗАНЦЕВА Л. О., СЬОМКА В. О., БОНДАРЕНКО С. М. /
SUKACH V., RIAZANTSEVA L., SOMKA V., BONDARENKO S.**

Молибденова мінералізація Сергіївського Au-Mo родовища
(Середнє Придніпров'я, Український щит)
Molybdenum mineralization of Serhiivka Au-Mo deposit
(Middle Dnipro, Ukrainian Shield)

3

ПРОКОПЕНКО О. С., КУРИЛО М. М., КУЛИК С. М. / PROKOPENKO O., KURYLO M., KULYK S.

Обґрунтування оптимальних значень бортового вмісту
за допомогою 3D-моделювання на прикладі вітчизняних
родовищ залізистих кварцитів
Determination and choice of optimal cut-off grade value using
3d modeling on the example of domestic bif deposits

12

РУДЬКО Г. І., ЯКОВЛЕВ Є. О. / RUDKO G., YAKOVLEV Ye.

Сучасні чинники регіональних граничних змін інженерно-
геологічних умов України
Modern factories of regional engineering-geological conditions
of Ukraine changes

15

КИРИЛЮК В. П. / KYRYLYUK V.

Ще раз про стратиграфічні комплекси та регіональну
стратиграфічну схему нижнього докембрію Українського щита
Стаття 2. Кореляція комплексів Українського та інших щитів
Північної Євразії
Revisiting stratigraphic complexes and regional stratigraphic
scheme of the lower precambrian of the Ukrainian shield
Article 2. Correlation of complexes of ukrainian
and other shields of North Eurasia

27

СПЛОДИТЕЛЬ А. О. / SPLODYTEL A.

Ландшафтно-геохімічні умови та закономірності розподілу
токсичних елементів на території військового полігону
“Олешківські піски”
Landscape-geochemical preconditions and regularities of toxic elements
distribution on “Oleshkivski pisky” military training site territory

34

КЛОЧКОВ В. М., КЛОЧКОВ С. В. / KLOCHKOV V., KLOCHKOV S.

Кільцеві структури Північного Причорномор'я
як сліди планетарної катастрофи
Circular structures of the Northern Black Sea Region
a consequence of a planetary catastrophe

44

ОРЛОВСЬКИЙ В. М. / ORLOVSKIY V.

Обважені тампонажні матеріали
Heavy cement materials

48

Геофорум – 2020
Geoforum – 2020

52

Вітаємо з ювілеєм академіка НАНУ Олександра Юхимовича Лукіна!
Congratulations on the anniversary of Academician of NASU
Oleksandr Yukhymovych Lukin!

53

Інформаційні матеріали Державної служби геології та надр України
State Service of Geology and Subsoil of Ukraine information

54

УДК 553.411.071+553.462(477.63)

 <https://doi.org/10.31996/mru.2020.1.3-11>

В. В. СУКАЧ, д-р геол. наук, старший науковий співробітник (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України), <https://orcid.org/0000-0002-4710-7230>,

Л. О. РЯЗАНЦЕВА, провідний геолог (Казенне підприємство “Півден-укргеологія”),

В. О. СЬОМКА, д-р геол. наук, завідувач відділу (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України), <https://orcid.org/0000-0001-5202-4045>,

С. М. БОНДАРЕНКО, кандидат геол. наук, старший науковий співробітник (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України), <https://orcid.org/0000-0001-7948-3583>

V. SUKACH, Doctor of Geological Sciences, Senior Scientist (M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU), Kyiv, <https://orcid.org/0000-0002-4710-7230>,

L. RIAZANTSEVA, Leading Geologist (State Enterprise “Pivdenukrgeology”), Dnipro,

V. SOMKA, Doctor of Geological Sciences, Head of Department (M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU), Kyiv, <https://orcid.org/0000-0001-5202-4045>,

S. BONDARENKO, Candidate of Geological Sciences, Senior Scientist (M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU), Kyiv, <https://orcid.org/0000-0001-7948-3583>

МОЛІБДЕНОВА МІНЕРАЛІЗАЦІЯ СЕРГІЇВСЬКОГО Au-Mo РОДОВИЩА (СЕРЕДНЄ ПРИДНІПРОВ'Я, УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

MOLYBDENUM MINERALIZATION OF SERHIIVKA Au-Mo DEPOSIT (MIDDLE DNIPRO, UKRAINIAN SHIELD)

Стаття присвячена мінералізації молібдену східного флангу Au-Mo Сергіївського родовища, розміщеного в Середньопридніпровському мегаблоці Українського щита (УЩ). У праці висвітлено такі питання: історія виявлення і вивчення зруденіння молібдену; будова і склад умисного породного комплексу; метаморфічні та метасоматичні перетворення порід; структурне положення й умови локалізації продуктивної мінералізації; склад руд і характеристика головних рудних мінералів; морфологія зруденіння і найпоширеніші погляди на його генезис. Уперше молібденову мінералізацію виявлено й виокремлено як Східносергіївський рудопрояв у 1974 р., набагато раніше за відкриття власне родовища золота в 1985 р. Зазвичай молібденове зруденіння Сергіївського родовища розглядають як самостійний, поряд із рудами золота, потенційно промисловий об'єкт. За ресурсами він є одним із найперспективніших на території Середнього Придніпров'я, УЩ і в Україні загалом. Для підвищення інвестиційної привабливості Сергіївського родовища пропонуємо комплексний підхід до його вивчення та оцінки з огляду на потенціал і молібденового, і золотого зруденіння, а також наявні концентрації ренію й осмію в молібденіті.

Ключові слова: Солонянське рудне поле, Сергіївське золото-молібденове родовище, молібденові руди, молібденіт, пірит, халькопірит, реній.

The article is devoted to molybdenum mineralization of the Eastern flank of Au-Mo Serhiivka deposit, located in the Middle Dnipro megablock of the Ukrainian Shield (USh). The generalized description of mineralization is performed on such important questions: discovery and exploration history, structure and composition of the host rocks, metamorphic and metasomatic alteration of rocks, structural position and localization conditions of molybdenum mineralization, ore composition, description of major ore minerals, morphology of mineralization and the most widespread views about its genesis. Molybdenum ores were discovered and named East-Serhiivka occurrence for the first time in 1974, before the discovery of gold mineralization, which occurred in 1985.

Serhiivka deposit consists of two Mesoarchean volcanic-plutonic associations (VPA) of different composition: the early mafic and the late felsic. The Eastern flank of the deposit, where the molybdenum mineralization is concentrated, is a structural knot similar to the lying letter “T”. It is formed by complex joint of the sub-latitudinal Serhiivka and sub-meridional Solone subvolcanic bodies and the East-Serhiivka massif of plagiogranitoids of the late VPA, which intrude basic rocks of early VPA. Molybdenum mineralization is localized in linearly elongated zones with a chaotic network of thin quartz, carbonate-quartz veinlets and poor (2–5 %) sulfide impregnation, including molybdenite. About 20 vein-impregnated ore zones have been recovered with up to 100–150 m thickness and 0,01 to 0,3 %, sometimes more than 1 % average molybdenum grade. The ores are subdivided into two major mineral types: 1) quartz-molybdenite; 2) quartz-sulfide-gold-molybdenite. The main components of ores molybdenite and native gold are associated with pyrite, chalcopyrite, magnetite, occasionally – pyrrhotite, arsenopyrite, scheelite, bismuth telluride, silver and others. Typical non-metallic minerals are quartz, carbonate, feldspar, chlorite, amphibole, biotite, sericite. It is supposed hydrothermal-metamorphogenic genesis of molybdenum (and gold) ores. Molybdenite and gold are rarely detected in the same intersections, which indicates separate genesis of these minerals. According to the accepted classification molybdenum mineralization is systemized as linear stockwork.

Molybdenum ores of Serhiivka deposit are mostly considered as independent, separate from gold mineralization, potentially workable mine. It is the most prospective one in the Middle Dnipro region, USh and Ukraine in general. We suggest a comprehensive approach to studying, resource and reserves evaluation of Serhiivka deposit, taking into account the potential of both molybdenum and gold mineralization, as well as concentrations of rhenium and osmium in molybdenite. Geological exploration on the base of this approach will increase investment prospects of Serhiivka gold-molybdenum deposit.

Keywords: Solone ore field, Serhiivka gold-molybdenum deposit, molybdenum ores, molybdenite, pyrite, chalcopyrite, rhenium.

Вступ. Сергіївське золото-молібденове родовище розміщене поблизу північної околиці с. Сергіївка Солонянського району Дніпропетровської області, південно-західніше за 5 км від смт. Солоне і за 35 км від м. Дніпро. У металогенічному плані родовище розміщується в межах Солонянського рудного поля (СРП) [7], яке виділяється в південній частині Сурської зеленокам'яної структури (ЗКС) Середньопридніпровського

мегаблока (СПМ) Українського щита (УЩ). СПМ – це архейський кратон, який зазвичай розглядають як граніт-зеленокам'яну область (ГЗО) (рис. 1).

Зруденіння приурочене до субширотного Сергіївського субвулканічного тіла метаморфізованих дацитів, ріодацитів віком 3,05–3,06 млрд років [13], яке прориває аполлонівсько-сергіївську вулканічно-плутонічну асоціацію (ВПА) базальтів і габро-долеритів [8]. В екзоконтактах центральної частини субвулканічного тіла локалізується промислова мінераліза-

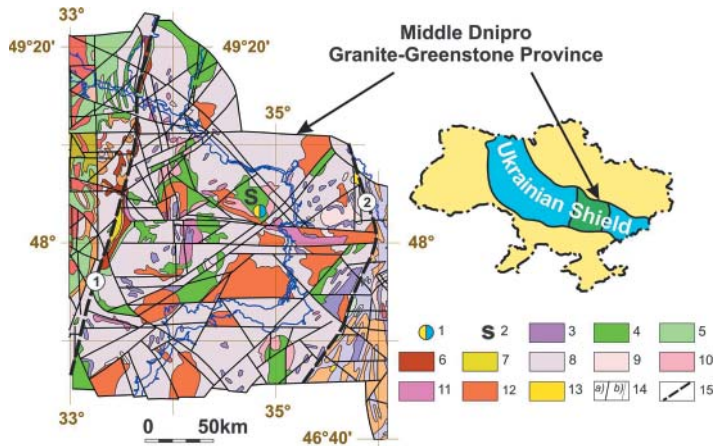


Рис. 1. Геологічна карта Середньопридніпровської граніт-зеленокам'яної області:

1 – Сергіївське Au-Мо родовище; 2 – Сурська ЗКС; 3 – ульська серія; 4 – конкська серія; криворізька серія: 5 – новокриворізька світа, 6 – саксаганська світа, 7 – глеюватська світа; ультраметаморфічні та інтрузивно-магматичні комплекси: 8 – дніпропетровський, 9 – славгородський, 10 – сурський; 11 – саксаганський, 12 – демуринський, токівський і мокромосковський, 13 – малотерсянський; 14a – розломи; 14b – геологічні границі; 15 – міжблокові (1) Криворізько-Кременчуцький та (2) Оріхівсько-Павлоградський глибинні розломи

ція золота, яка в східному напрямку поступово змінюється на молібденову (Східносергіївський рудопрояв). З огляду на факт просторового сполучення та приуроченості до єдиної геологічної структури зруденіння золота й молібдену розглядаємо в межах єдиного Сергіївського комплексного золотомолібденового родовища [9].

Мінералізацію золота доволі повно схарактеризовано в чималій кількості наукових публікацій і рукописів: монографіях, статтях, препринтах, тезах доповідей, дисертаційних роботах. Натомість зруденіння молібдену вивчене й висвітлене в літературі набагато гірше. Стислі його описи містяться в окремих статтях і монографіях, які зазвичай присвячені головній супутній корисній копалині – золоту, або ж в узагальнювальних металогенічних працях, присвячених питанням молібденоносності певного району, УЩ або України загалом [4, 10, 15 та ін.].

Історія вивченості родовища. Найраніші згадки про Сергіївське родовище пов'язані саме з відкриттям Східносергіївського рудопрояву молібдену в 1974 р. Мінералізацію молібдену вперше задокументував І. О. Гаєв зі співвиконавцями глибинного геологічного картування масштабу 1:50 000 (ГГК-50) району Сурських магнітних аномалій, тепер Сурської ЗКС. Унаслідок цих робіт автори класифікували рудопрояв як високopersпективний і першочерговий для проведення геологорозвідувальних робіт (ГРР). У 1980 р. О. А. Гончар за даними металогенічних картоскладальних робіт підтвердив високі перспективи цього об'єкта й потребу організації в його межах детальних пошуків. Однак рекомендації з дальшого вивчення мінералізації молібдену почали втілюватися тільки після того, як О. Б. Бобров відкрив Північносергіївський рудопрояв золота під час чергового етапу ГГК-50 Сурської структури в 1983–1985 рр. Результати, які він отримав, суттєво активізували ГРР. Зокрема, упродовж 1989–2004 рр. у межах Сергіївського родовища виконали пошуково-оцінювальні роботи й бурову розвідку на золото (Л. В. Ісаков, В. А. Волкодав, М. Ю. Дишук, 2000), а на його східному фланзі – пошуки молібдену (Л. О. Рязанцева, 2004); у межах СРП проведено великомасштабне геоло-

гічне довивчення (ГДП-50) разом із загальними пошуками корінних родовищ і похованих палеогенових алювіальних розсипів золота (В. В. Сукач, М. Т. Цима, Н. М. Гаєва, 1999 р.). ГРР супроводжували науковими дослідженнями переважно мінералого-геохімічного напрямку, які виконували В. С. Монахов, В. О. Сьомка, С. М. Бондаренко, В. М. Іванов, Г. В. Артеменко, Н. Ф. Дудник, Ю. В. Ляхов, М. М. Павлунь та ін.

Мета роботи: схарактеризувати геолого-структурну позицію та особливості локалізації молібденових руд східного флангу Сергіївського комплексного Au-Мо родовища (так званого Східносергіївського рудопрояву) за оригінальними матеріалами авторів цієї статті – відповідальних виконавців наукових проєктів і ГРР різних стадій, проведених у межах родовища; дослідити мінералого-геохімічні особливості зруденіння.

Геологічна будова і структура. Сергіївське родовище розміщується в південній частині Сурської ЗКС, у межах якої ареал розвитку зруденіння золота виділяється як СРП.

Сурська ЗКС (рис. 2) розміщена в центральній частині Середньопридніпровської ГЗО. Структура має видовжену в північно-західному напрямку коритоподібну форму та розміри 28×16 км, а в розрізі – асиметричну синклінорну будову. Південно-західний борт є пологішим і падає на північний схід під кутами 50–75°, тоді як північно-східний характеризується субвертикальним падінням. На фоні брахіподібної складчастості всередині структури виділяються більш деформовані її прибортові зони. Зокрема, у північній частині структура ускладнена Грушівською, Карнаухівською та Пашенівською

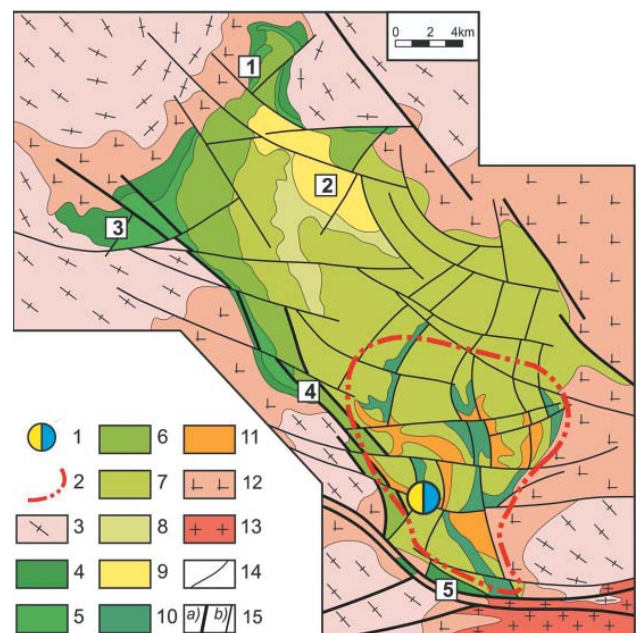


Рис. 2. Схематична геологічна карта Сурської ЗКС:

1 – Сергіївське Au-Мо родовище; 2 – межі Солонянського рудного поля; 3 – плагіомігматити дніпропетровського комплексу; сурська світа: 4 – перша підсвіта (метаморфізовані базальти), 5 – друга підсвіта (коматіти, базальти), 6 – третя і четверта підсвіти об'єднані (базальти, туфи, туфити, осадові породи, залізисті кварцити, коматіти); 7 – аполлонівська товща (базальти, долерити); 8 – алферівська товща (піроксенітові коматіти); 9 – пашенівська товща; 10 – габродолерити, габро; 11 – ріодацити, дацити, тоналіт-порфіри; 12 – плагіограніти сурського комплексу; 13 – граніти мокромосковського комплексу; 14 – геологічні границі; 15 – розломи: регіональні глибинні (а) і локальні (б). Цифри в квадратах: 1 – Карнаухівська, 2 – Пашенівська, 3 – Грушівська синклінали; 4 – Петрівсько-Миколаївська і 5 – Широківська моноклінали

синкліналями, на півдні – Широківською, а на південному заході – Петрівсько-Миколаївською монокліналями зі стрімким падінням. За даними сейсмічних досліджень і щільнісного моделювання днище синклінорію фіксується на глибині приблизно 5 км. З південного заходу й північного сходу він обмежений відповідно Західносурським і Дніпродзержинським, а з півдня – Девладівським глибинними розломами. Сурська ЗКС складена мезоархейськими стратифікованими осадововулканогенними породами конкської серії, зонально метаморфізованих від зеленосланцевої до епідот-амфіболітової (у крайових частинах) фацій. Конкську серію підстилають плагіомігматити дніпропетровського комплексу з останцями суперкрудальних порід аульської серії амфіболітової фації. У складі конкської серії виділяються (знизу вгору): сурська світа, аполлонівська товща, алферівська світа та пашенівська товща. Інтрузивні й субвулканічні аналоги вулканітів названих стратифікованих підрозділів представлені (від раніших до пізніших): верхівцевським базит-ультрабазитовим комплексом, сергіївською асоціацією габроїдів, миколаївською асоціацією базит-ультрабазитів. Із завершальним етапом формування структури пов'язане вкорінення приблизно 3,0 млрд років тому плагіогранітоїдів сурського комплексу. Формування гранітоїдних масивів мокромосковського комплексу 2,7 млрд років тому просторово відірване від зеленокам'яної структури. Становлення цього комплексу пов'язують з етапом консолідації Середньопридніпровської ГЗО. Наймолодшими, неметаморфізованими породами Сурської ЗКС є дайки габроноритів і камптонітів, імовірно протерозойського віку.

Солонянське рудне поле виділяється в південній частині Сурської ЗКС (рис. 3). Окрім золото-молібденових родовищ Сергіївське і Балка Золота [9], СРП об'єднує понад 10 перспективних рудопроїв золота, серед яких Аполлонівський, Андріївський, Новий, Тетянин, Дорожній та ін. Рудне поле утворене двома різновіковими й контрастними за складом ВПА: рання ВПА основного складу (аполлонівсько-сергіївська) – потоки базальтів аполлонівської товщі та дайкоподібні інтрузиви й сили сергіївських габро-долеритів; пізня ВПА кислого складу (сурський комплекс) – січні стосовно базитів ранньої ВПА порфірові ріодацити, дацити, тоналіт-порфіри й порфіроподібні тоналіти, які складають субвулканічні тіла (Сергіївське, Солонянське, Східносолонянське) і дайки, зрідка штоки (Західний, Східний) і невеликі масиви (Східносергіївський). Утворення пізньої ВПА стосовно зрудення золота й молібдену розглядаємо як рудоконтролювальні та рудогенерувальні.

Рання ВПА становить понад 70 % площі СРП і представлена переважно базальтами. Потоки базальтів потужністю від перших десятків до 120 м зазвичай є слабкодеформованими. У центральній частині СРП (і Сурської ЗКС загалом) вони формують пологі монокліналі та брахіподібні складки. Їхні інтрузивні аналоги, долерити і габро-долерити, утворюють видовжені в субмеридіональному напрямку смугоподібні інтрузиви, які комбінуються із силоподібними тілами. Субвулканічні тіла і дайки пізньої ВПА перетинають базити ранньої ВПА, часто під прямим кутом. Розвиток ранньої ВПА визначає субмеридіональна система розломів (Аполлонівський, Центральносергіївський, Східносергіївський, Золотобалкинський та ін.), а вкорінення субвулканітів пізньої ВПА – переважно субширотна (Солонянський, Південносолонянський, Північносергіївський та ін.), а також окремі розриви субмеридіональної системи, наприклад Східносергіївський, Аполлонівський.

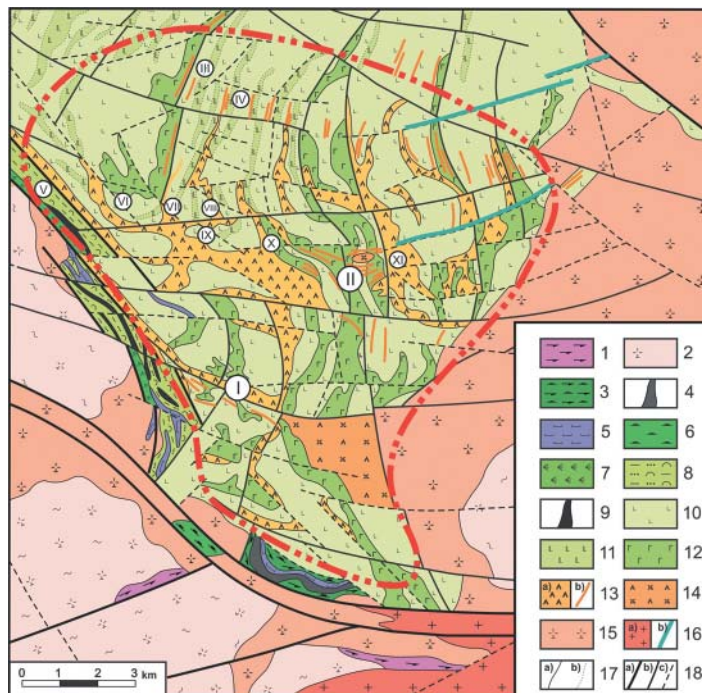


Рис. 3. Геологічна карта Солонянського рудного поля (південної частини Сурської ЗКС):

1 – аульська серія (амфіболіти, кристалосланці); 2 – дніпропетровський комплекс (плагіомігматити); сурська світа нерозчленована; 3 – сланці амфіболів, 4 – залізисті кварцити, 5 – тальк-карбонатні породи; 6 – перша підсвіта (амфіболіти); 7 – друга підсвіта (коматіти); третя підсвіта: 8 – туфолави і туфи основного й середнього складу, туфопісковики, туфоалевроліти, пісковики, алевроліти, ріоліти, 9 – пласти смугастих залізистих кварцитів; аполлонівська товща: 10 – базальти, 11 – долерити; 12 – сергіївська асоціація габро-долеритів, габро; 13 – дацити, ріодацити (а) та їхні дайки поза масштабом (б); 14 – тоналіт-порфіри, порфіроподібні тоналіти; 15 – сурський комплекс (плагіограніти); 16а – мокромосковський комплекс (двопольовошпатові граніти); 16б – позамасштабні дайки меланогабро; 17 – геологічні (а) та літологічні (б) границі; 18 – розломи регіональні (а), головні (б), другорядні (с). Цифри в кружках – Au-Mo родовища: I – Сергіївське, II – Балка Золота; рудопроєви золота: III – Аполлонівський, IV – Східноаполлонівський, V – Південнопетрівський, VI – Сонячний, VII – Новий, VIII – Розрахунковий, IX – Центральний, X – Дорожній, XI – Тетянин. Червоною переривчастою лінією показано контур Солонянського рудного поля

Сергіївське родовище розміщене в південній частині СРП (рис. 4) і як його складова частина побудоване базальтами, габро-долеритами, долеритами (рання ВПА), які прориваються ріодацитами, дацитами, тоналіт-порфірами і порфіроподібними тоналітами (пізня ВПА). Геологічну будову й особливості зрудення його центральної, золотопродуктивної частини висвітлено в багатьох працях [1, 2, 4, 7, 8 та ін.]. У цій статті головної уваги надано опису східного флангу родовища – Східносергіївського рудопроєву молібдену. Його границями умовно визначено: на заході – профіль бурових свердловин № 23; на сході – зону субмеридіонального Східносергіївського розлому; на півночі й півдні – межі розвитку мінералізованих екзоконтактових зон Сергіївського субвулканічного тіла в основних породах пізньої ВПА. У зазначених границях розміри рудопроєву становлять 1,2×1,0 км.

Рудопроєв приурочений до вузла перетину субмеридіональної та субширотної тектонічних систем, які представлені відповідно Східносергіївським і Північносергіївським розломами. За результатами пошуково-оцінювального буріння рудопроєв можна поділити на західну і східну структурно-

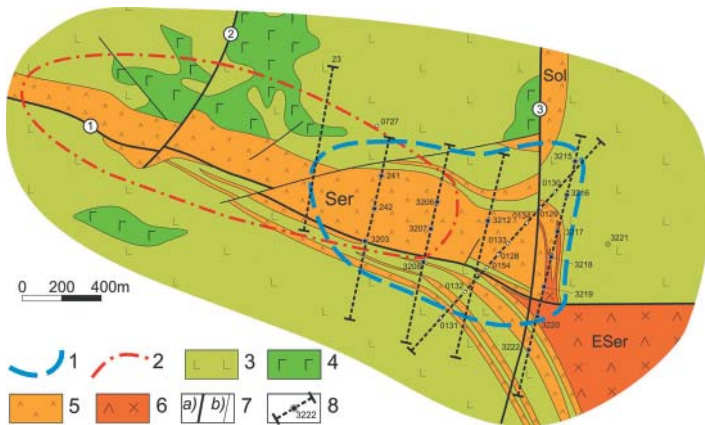


Рис. 4. Геологічна карта Сергіївського родовища

Ареали розвитку мінералізації: 1 – молібдену (синій контур), 2 – золота (червоний контур); рання (аполлонівсько-сергіївська) ВПА: 3 – базальти, 4 – габро-долерити, габро; пізня ВПА: 5 – дацити, ріодацити, 6 – тоналіт-порфіри, порфіроподібні тоналіти; 7 – розломи (а) і геологічні границі (б); 8 – профілі буріння, свердловини та їхні номери. Цифри в кружках – головні розломи: 1 – Північносергіївський, 2 – Центральносергіївський, 3 – Східносергіївський. Геологічні тіла пізньої ВПА: Сергіївське (Ser) і Солонянське (Sol) субвулканічні тіла дацитів, ріодацитів; Східносергіївський (ESer) масив тоналіт-порфірів, порфіроподібних тоналітів

геологічні частини. Західна частина (між профілями № 23 і 26) має просту будову, хіба що наявне помітне роздування до 340 м Сергіївського субвулканічного тіла. Східна частина набагато складніша за будовою (профілі № 26 і 27). Сергіївська субінтрузія ніби перетискається зі зниженням потужності до 200 м, а далі в східному напрямку віялоподібно розщеплюється з утворенням окремих відгалужень, одні з яких підвертаються до півночі і сполучаються з аналогічним за складом Солонянським субвулканічним тілом, інші – відхиляються на південь і зчленовуються зі Східносергіївським інтрузивом тоналіт-порфірів і порфіроподібних тоналітів. Описане зчленування тіл кислого складу, подібне до лежачої літери “Т”, загальною і визначає геологічну структуру Східносергіївського рудопрояву молібдену.

Контакти Сергіївського субвулканічного тіла січні інтрузивні, чіткі, супроводжуються переривчастими, завдовжки від десятків до перших сотень метрів, смугами еруптивних брекчій потужністю до 5 м, подекуди – до 12 м. Зазвичай матриця брекчій представлена тектонізованими й метасоматично зміненими основними породами, а уламки, завбільшки від перших міліметрів до 3–10 см, з кутастими або заокругленими краями, представлені тоналіт-порфірами, ріодацитами, фельзитами та іншими різновидами кислих порід, а також кварцом. Набагато рідше трапляється брекчія, у якій уламки базитів занурені в цементувальний агрегат кислого складу. Привертає до себе увагу те, що брекчія перебуває в зцементованому “залікованому” стані як свідчення її формування синхронно з укоріненням Сергіївського субвулканічного тіла.

Золото-молібденове зруденіння локалізується в зонах контакту кислих субвулканітів пізньої ВПА, які проривають породи ранньої аполлонівсько-сергіївської ВПА. Рудовмісними є розсланцьовані й метасоматично змінені дацити, ріодацити, тоналіт-порфіри, а також базити і їхні ксеноліти у перелічених кислих породах.

Метасоматити Сергіївського родовища поділяють на три групи [5]: 1) лужно-польовошпатові та амфібол-карбонат-кварцові метасоматити, які описав В. С. Монахов, ми

об’єднали в одну групу під спільною назвою монаховіти [6]; 2) метасоматити лиственіт-березитового типу; 3) середньонизькотемпературні пропіліти. У межах рудних зон метасоматити різних груп зазвичай просторово суміщаються.

Монаховіти утворилися під впливом післямагматичних слабко кислих або нейтральних середньотемпературних гідротермальних розчинів, пов’язаних із впровадженням субвулканічних тіл пізньої ВПА. Лужно-польовошпатові монаховіти представлені кварц-плагіоклазовими різновидами, серед яких кварц-альбітовий є найпоширенішим. Кварц-плагіоклазові метасоматити пов’язані переважно з дайками дацитів і ріодацитів, які супроводжують більші субвулканічні тіла. Кварц-альбітовий різновид розвинений по вмісних породах як кислого, так і основного складу, унаслідок чого вони набувають масивної текстури й суттєво альбітового (60–85 %) складу. Часто агрегати альбіту катаклазовані й “заліковані” карбонатом складу анкерит – залістий доломіт або кальцит.

Амфібол (тремоліт)-карбонат-кварцові монаховіти характерні для порід основного складу, кварц-карбонатних жил, а також поодиноких лінз ультрабазитів. Вони представлені січними жилородоподібними тілами потужністю від перших сантиметрів до перших метрів.

Метасоматичні зміни лиственіт-березитового типу найвиразніше проявлені поблизу кварцових жил і прожилків. У внутрішніх зонах метасоматичних колонок кислих порід переважає серицит, у базитах – пірит, карбонат, серицит, а в ультрабазитах – карбонат, кварц і з’являється тальк. Типові березити не задокументовані, проте процеси заміщення кислих порід пізньої ВПА серицитом, карбонатом і піритом повсюдні.

Повноцінно проявлені ореоли пропілітизації фіксуються рідко через те, що порушені дайками і субвулканічними тілами пізньої ВПА та просторово сполучаються з метасоматитами інших типів. У внутрішніх частинах виявлених ореолів зазвичай спостерігаються ядра епідот-кварцового складу з піритом.

Морфологія рудних зон і тіл залежить від структурних умов локалізації зруденіння. У західній частині рудопрояву розвинений лінійно-штокверковий тип мінералізації, який підпорядковується субширотному структурному плану, створюваному Північносергіївським розломом і Сергіївським субвулканічним тілом кислого складу. На східному фланзі з перетином різноорієнтованих геологічних і тектонічних структур створилися сприятливі умови для штокверкового подекуди брекчійового типів мінералізації. Для розвитку різноспрямованої мережі тріщин, потрібної для формування рудного штокверку, більш сприятливими є крихкі магматичні породи кислого складу пізньої ВПА, ніж більш пластичні базити ранньої ВПА. Загалом зруденіння Східносергіївського рудопрояву належить до комбінованого лінійно-штокверкового типу.

Лінійно-штокверкові зони мають складну морфологію зі звивистими контурами, “затоками” й відгалуженнями та представлені хаотичною мережею малопотужних кварцових, карбонат-кварцових прожилків з бідною (2–5 %) украпленістю сульфідів, зокрема й молібденіту. Загалом виділено 20 прожилково-вкраплених рудних зон потужністю до 100–150 м.

Такий морфологічний тип зруденіння може як узгоджуватися з геологічними границями й контактами, так і перетинати їх. Зазвичай рудні зони й рудні тіла не мають чітких геологічних меж і визначаються внаслідок випробування. Бортовий уміст молібдену для рудних зон становить 0,01 %, а для рудних тіл, які виділяються в їхніх межах, – 0,05 %. Щодо мінералізації золота, то вона зосереджена як у конту-

рах молібденовирудних зон (тіл), так і за їхніми межами, де виокремлюється в самостійні рудні тіла.

У межах рудопрояву виявлено такі лінійно-штоковеркові молібденумісні рудні зони:

1) північна рудна зона – у північному, висному боці Сергіївського субвулканічного кислого тіла;

2) центральна рудна зона – власне Сергіївське субвулканічне тіло;

3) південна рудна зона – у південному, лежачому боці субвулканічного тіла;

4) східна штоковеркова зона – в апікальній зоні Східносергіївського інтрузиву.

Мінеральний склад руд. За даними геолого-пошукових робіт виділено два основні мінеральні різновиди руд Східносергіївського рудопрояву: 1) кварц-молібденітовий; 2) кварц-сульфідно-золото-молібденітовий. Головними корисними мінералами-компонентами руд є молібденіт (рис. 5), а також золото. Продуктивну мінералізацію супроводжують пірит, халькопірит, магнетит, рідше виявляються піротин, арсенопірит, шееліт, сфалерит, мінерали вісмуту, срібла, телуру. Такі мінерали, як арсенопірит, телуриди вісмуту й срібла, самородний вісмут розглядають як пошукову ознаку золотого зруденіння. Золото поширене на всій площі рудопрояву, проте його розподіл вельми нерівномірний. Варто зазначити, що за наявності благородного металу його вміст зазвичай сягає промислових концентрацій. Головними нерудними мінералами є кварц, карбонат, польовий шпат, хлорит. У меншій кількості наявні амфібол, біотит, серицит, епідот, а також акцесорні ільменіт, апатит, сфен, циркон, монацит, турмалін, рутил, силіманіт тощо.

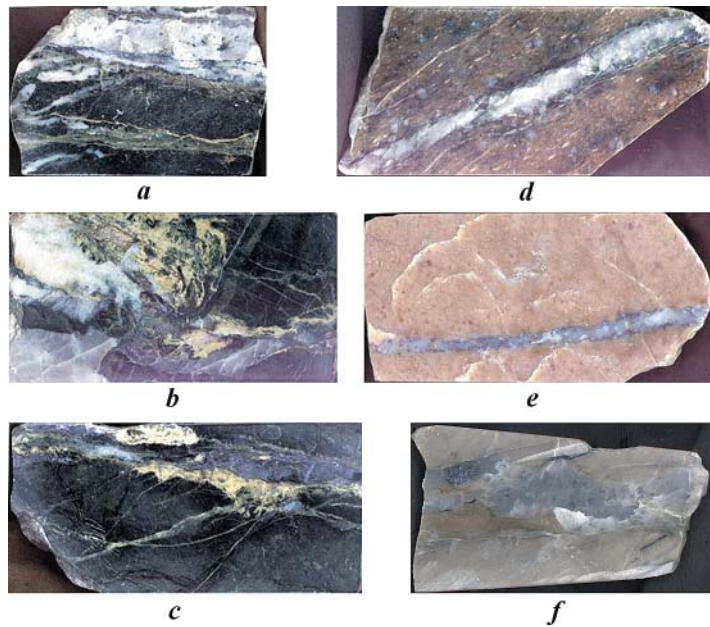


Рис. 5. Молібденові руди Сергіївського родовища

Мінералізація в базальтах: а – карбонат-кварцовий прожилок з молібденітом, сверд. 3213, гл. 317,5 м, уміст Мо – 0,051 %; б – розвиток піриту, карбонату, молібденіту в зальбанді кварцової жили, сверд. 3213, гл. 266,8 м, уміст Мо – 0,031 %; в – кварцовий прожилок з молібденітом і піритом, сверд. 3213, гл. 264,0 м, уміст Мо – 0,025 %. Мінералізація в кислих породах: д – молібденіт у зальбандах, подекуди всередині карбонат-кварцового прожилка в порфіровому дациті, сверд. 3218, гл. 243,2 м, уміст Мо – 0,05 %; е – молібденіт-кварцовий прожилок у фельзиті, сверд. 3219, гл. 278,5 м, уміст Мо – 0,105 %; ф – дрібна вкрапленість молібденіту, розсіяна всередині кварцового прожилка у фельзиті, сверд. 3219, гл. 275,7 м

Показово, що склад руд суттєво залежить від складу вмісних порід лише стосовно породотвірних (нерудних) мінералів. Набір головних рудних компонентів (молібденіт, пірит, халькопірит) є простим і доволі витриманим, певних варіацій може зазнавати лише їхній уміст.

Молібденіт у рудоносних лінійно-штоковеркових зонах приурочений до кварцових прожилків (рис. 5), потужність яких варіює від 1 до 5 см. Він має вигляд сажоподібних примазок, нальоту вздовж площин сколювання або виповнює волосоподібні мікротріщини. Під мікроскопом молібденіт зазвичай має вигляд недосконалих кристалів – лусок та їхніх скупчень, подекуди трапляються таблички й пластинки, рідко – тригональні призми, гексагональні пластинки і розетки. Для зерен мінералу характерні полісинтетичні двійники тиску, фігури зминання, блокове й хвилясте згасання. За розміром виділень молібденіт розподіляється в руді в такий спосіб: 0,005–0,01 мм ~ 30 %; 0,01–0,1 мм ~ 40 %; >0,1–1,0 мм ~ 25 %; >1 мм ~ 5 %. Загалом форма й розміри виділень мінералу залежать від складу вміщувальних утворень. Зокрема, у прожилках суттєво кварцового і кварц-польовошпатового складу переважають кристали більших розмірів з гарними й досконалими кристалографічними обрисами. Серед хлоритових і серицитових жильних скупчень утворюються тонколускуваті лінзоподібні агрегати молібденіту завдовжки 2–5 мм, орієнтовані згідно зі структурним напрямком породотвірних мінералів. У прожилках карбонатного і кварц-карбонатного складу він переважно має вигляд пилюватої вкрапленості. Основний обсяг лусок мінералу і їхніх агрегатів виповнює мікротріщини в зальбандах, рідше – у внутрішніх частинах прожилків, іноді – уздовж границь окремих зерен. Найчастіше молібденіт розміщується відокремлено від інших рудних мінералів, проте його зростання з піритом і халькопіритом є також доволі поширеним.

У кислих субвулканітах молібденіт розвивається в зальбандах кварцових прожилків, де представлений мономінеральним агрегатом мікролусок, розмір яких не перевищує 450–600 мкм. Іноді прихованокристалічні агрегати мінералу виповнюють мікротріщини з переходом в гніздоподібні скупчення лусок завдовжки до 350 мкм. У зонах брекчіюваних порід мінерал часто облямовує окремі зерна альбіту.

У базальтах молібденіт представлений лінзами та гніздами лускуватої будови (рис. 6), які приурочені до кварцових і карбонат-кварцових прожилків (сверд. 3219, гл. 341,0 м). Лінзи орієнтовані згідно з простяганням прожилків; окремі луски в одних випадках підпорядковуються видовженню лінз, в інших – розміщуються хаотично. Розмір окремих лусок не перевищує 700–800 мкм. Молібденіт за наявності інших сульфідів утворює зростки з халькопіритом, тоді як з піритом він зазвичай просторово розмежовується. Трапляються випадки заміщення халькопіриту молібденітом вздовж тріщин або виповнення в ньому мікротріщин. У базальтах зі сверд. 3213 (гл. 184,3 м.) молібденіт локалізований здебільшого в зальбандах кварцового прожилка вздовж тріщин відриву і мікропорожнинам. Він представлений переважно лускато-волокнистим або масивного вигляду агрегатом і окремими лусочками (рис. 7) завдовжки 0,5 – 0,7 мм.

В асоціації з молібденітом зазвичай наявні пірит і халькопірит (рис. 8), рідко – золото, піротин, телуриди, шееліт та інші рудні мінерали. Цікавим у цьому сенсі є розріз за сверд. 3218, описаний у звіті про пошуки молібдену в межах південної частини Сурської структури (Л. О. Рязанцева та ін., 2004). Зокрема, в інтервалі 184,5–185,4 м, представленому змінени-

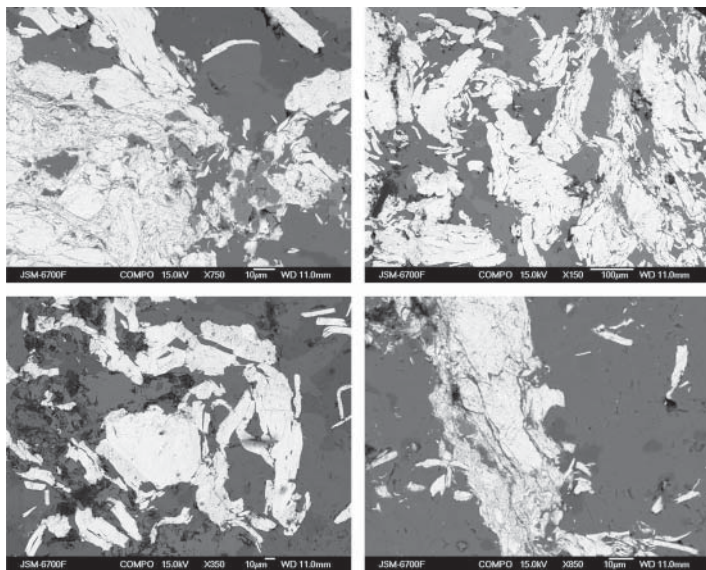


Рис. 6. Молибденіт у масивних тонколускуватих агрегатах лінзовидної та неправильної форми, сверд. 3219, гл. 275,7 м

Електронні зображення на рис. 6–8 отримано в ІГМР НАН України під електронним мікроскопом JEOL JSM-6700F, виконавець – канд. геол.-мінерал. наук О. А. Вишневський

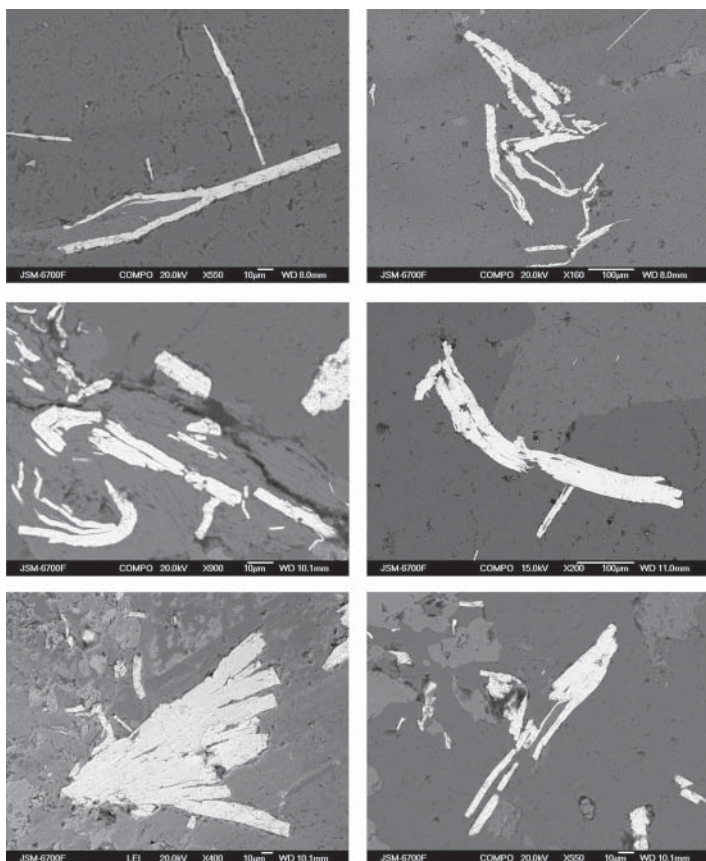


Рис. 7. Ідіоморфні видовжені таблиці та луски молибденіту, сверд. 3213, гл. 261,0 м

ми порфіровими дацитами, де вміст молибдену сягає 0,065 %, виявлено самородне золото (з концентрацією 8 г/т за даними пробірного аналізу), а також мінерали вісмуту (вміст – 0,15 % Bi), вольфраму (0,01 %) і срібла (до 7 г/т). На глибині 185,1 м спостерігається видиме золото і його зростки з молибденітом, а також зростки молибденіту з телуридами. Самородне золото пробністю 790–916 представлене зернами розміром до

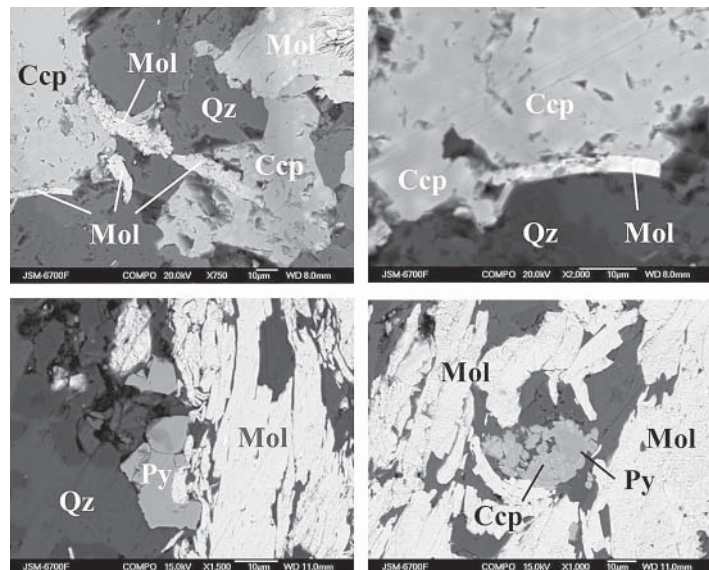


Рис. 8. Молибденіт в асоціації з піритом і халькопіритом у зразках керна сверд. 3219 (гл. 275,7 м) і 3213 (261,0 м)

50 мкм у жильній матриці, між окремими лусочками молибденіту, де наростає на них або формується у вигляді вкраплень в агрегаті лусок. Найбільш виразною є мінеральна асоціація, де мікроросток золота з телуридом розміщується серед молибденіту. Зафіксовано також мікроросток золота з телуридом вісмуту в молибденіті. Це дає підставу припустити наявність золото-телуридно-молибденітової парагенетичної асоціації.

За результатами рентгено-структурних досліджень молибденіту діагностовано два його політипи [11, 12]. Найпоширенішим є двошаровий політип (2H), який кристалізується в гексагональній сингонії і характеризується переважно лінзовидними й неправильної форми агрегатами тонколускуватого молибденіту (рис. 6). Другий політип – тришаровий (3R) ромбоєдричної сингонії, який найчастіше представлений ідіоморфними видовженими таблицями й лусками або їхніми агрегатами (рис. 7). За методикою Ф. Е. Віксона та Д. К. Сміта (1970) отримано дані про співвідношення поліморфних модифікацій молибденіту, зокрема, виявлено чітку тенденцію збільшення частки 3R модифікації (до 35 %) з ростом умісту ренію в молибденіті.

Реній геохімічно близький до молибдену, має майже ідентичні розміри іонних радіусів та однакові поляризаційні властивості. Він є доволі характерним для руд молибдену й зосереджується зазвичай як ізоморфна домішка в ньому. Уміст ренію в керні сверд. 3216, 3217 становить від 93,8 до 229,5 г/т. Елементний аналіз монофракцій молибденіту визначено в Інституті ядерних досліджень НАН України [11] методом інструментального нейтронно-активаційного аналізу з використанням нейтронів науково-дослідного реактора ВВР-М. Окрім того, як корисну домішку в молибденових рудах діагностовано елемент платинової групи осмію. За даними вимірювань мас-спектрометром VG-9000 з жевірним розрядом уміст осмію в молибденітових концентратах змінюється від 0,8 г/т до 277,77 г/т і в середньому становить 51,66 г/т.

Інтенсивний розвиток сульфідів (насамперед піриту) не є сприятливою ознакою для підвищеного вмісту молибдену. Більшою мірою наявність сульфідів свідчить про ймовірні рудні концентрації золота. Водночас підвищена концентрація золота не завжди збігається з інтенсивною піритовою мінералізацією.

Золото перебуває в парагенетичній асоціації з кварцом, карбонатом і сульфідами (піритом, халькопіритом, арсенопіритом), дуже рідко – молібденітом. Виділення золота мають зазвичай неправильну й грудкоподібну форму з гострими або заокругленими краями, рідше – шкаралупоподібну, пластинчасту, таблитчасту, паличкоподібну та розмір від 0,01–0,05 мм до 0,55 мм. Іноді дрібні зерна утворюють слабо сцементовані агрегати, які розпадаються на ще дрібніші золотинки (сверд. 3203, гл. 163,0 м). Загалом його форма й розміри залежать від складу вмисних порід. У зонах інтенсивного скварцювання, карбонатизації, у кварцових і кварц-карбонатних прожилках зерна мають більш ізометричну (грудкувату, товстотаблитчасту) форму, на відміну від золота, пов'язаного із залізистими сульфідами, де переважають лускаті й плескаті зерна. Золото в сульфідах є незв'язаним; зазвичай воно зосереджується в малопотужних кварцових прожилках, які перетинають скопчення сульфідів, подекуди ніби цементує зерна піриту.

За наявної комплексності родовища потрібно зазначити факт просторового розмежування рудних інтервалів золота й молібдену. Підвищений уміст обох металів в одних і тих же перетинах трапляється рідко, що вказує на роз'єднаність процесів золото- й молібденовідкладення. Імовірно, що головна стадія мінералізації молібдену разом з піритом, халькопіритом, піротином передувала благородному металу, а пізніша золото-телуридно-молібденова є малопродуктивною на молібден.

Пірит – найпоширеніший сульфідний мінерал. Він нерівномірно розсіяний у рудах у кількості від 1–3 до 5 %. В окремих інтервалах його концентрація підвищена до 10,7–18,4 кг/т. У таких випадках – це густа вкрапленість, суцільні мікропрожилки завширшки декілька міліметрів або гніздоподібні виділення неправильної форми розміром до 10–15 мм. Зазвичай ділянки піритової мінералізації мають смугасту будову, із субпаралельним орієнтуванням виділень піриту в уміщувальній породі або жильній (кварцовій) масі (рис. 8). Виділяється декілька генерацій піриту, і здебільшого його утворення передувало продуктивній мінералізації молібденіту, а надто накопиченню золота.

Халькопірит переважно виявляється у зруденілих базитах у кількості до 1,09 кг/т з відповідним умістом міді до 0,159–0,50 %. Зерна халькопіриту мають неправильну форму, зрідка – тетраедричну; часто розміщуються в зростках з іншими сульфідами, переважно піритом. Халькопірит утворює дрібну вкрапленість у жильній матриці й піриті в жилах, також міститься в зростках з піротином, а подекуди виповнює волосоподібні тріщинки в піриті. Зазвичай більш ідіоморфні зерна піриту ніби занурені в халькопіритову матрицю; іноді халькопірит виповнює інтерстиції між зернами піриту.

Піротин поширений спорадично. Він утворює виділення неправильної і видовжено-неправильної, рідше близької до ізометричної форми, приурочені до порожнин і тріщин у жильному матеріалі й піритовій вкрапленості в базальтах. Інколи піротин наростає на грані кристалів піриту, кородуючи їх, або виповнює в ньому тріщинки, ще рідше утворює мікровкраплення. Подекуди трапляються дрібні самостійні виділення піротину округлої та овальної форми, а також тріщинки завдовжки перші міліметри у вмисних породах, які майже повністю виповнені піротином.

За взаємовідношеннями сульфідів в аншілфах з'ясована така загальна послідовність їхньої кристалізації: пірит → піротин → халькопірит → молібденіт.

Шееліт (вольфрамат кальцію) виявлений у крайових частинах родовища, переважно в кислих метавулканітах, у

концентраціях, які відповідають умісту вольфраму від 0,005 до 0,05 %. У керні сверд. 3210 в інтервалі 327,2–328,4 м у тоналіт-порфірах діагностовані зерна шееліту неправильної форми розміром 0,4×0,35×0,30 мм. У сверд. 3205 в інтервалах 183,4–184,5, 201,2–202,4 і 230,5–232,0 м уміст вольфраму становить 0,01–0,03 %.

Підвищений уміст **срібла** (до 10 г/т) зумовлений наявністю самородного срібла, телуридів срібла в рудах. У керні сверд. 3210 в інтервалі 146,0–147,5 м у метабазальтах у зерні піриту виявлено дрібний самородок срібла завбільшки 0,15×0,01 мм.

Генезис молібденових руд. У Середньопридніпровській ГЗО виявлено найбільшу кількість молібденових проявів, порівнюючи з іншими мегаблоками УЩ [10]. Їх можна класифікувати на дві геолого-генетичні групи. Перша група – найпоширеніші прояви, які просторово й генетично пов'язані з мезоархейськими двопольовошпатовими гранітоїдами мокромосковського й токівського комплексів [15]. Зруденіння таких об'єктів належать до монометалевого молібденового типу. Друга група – це рудопояви, локалізовані в мезоархейських ЗКС і пов'язані з постмагматичними гідротермальними процесами в осадово-вулканогенних зеленокам'яних товщах під впливом становлення субвулканічних і плутонічних тіл та масивів плагіогранітоїдів сурського комплексу. Ці рудопояви представлені мінералізацією мідно-молібденового або молібденового типу.

Найпродуктивнішим, з реальними промисловими перспективами є другий – молібденовий тип, до якого зараховуємо Східносергіївський рудопояв. Найбільш прийнятною для нього є метаморфогенно-гідротермальна генетична модель, яка припускає рудогенерувальну роль утворень пізньої ВПА за участі речовини метаморфічних процесів. Зазначимо, що на початкових етапах вивчення родовища В. С. Монахов [5] схилявся до думки, що формування рудоносних лужно-польовошпатових з рожевим альбітом метасоматитів (монаховітів) пов'язане не з плагіогранітоїдами сурського комплексу (пізня ВПА), а з двопольовошпатовими гранітами мокромосковського комплексу. Однак у межах Сергіївського родовища типові мокромосковські граніти, пегматити чи апліти достовірно не виявлені. Ми не відкидаємо такого погляду, лише хочемо зазначити, що мокромосковські гранітоїди мають суттєве поширення за межами Сурської ЗКС, де утворюють невеликі штокоподібні тіла серед так званого гранітоїдного облямування – плагіогранітоїдів дніпропетровського й сурського комплексів. Крім того, власне Мокромосковський масив розміщений за 30 км південно-східніше від Сергіївського родовища.

Більшість дослідників та автори цієї статті вважають, що продуктивна мінералізація як молібдену, так і золота Сергіївського родовища пов'язана з однойменним субвулканічним тілом порід плагіогранітоїдного складу. Водночас особливості геологічної будови східного флангу родовища вказують на те, що зруденіння молібдену може мати не лише просторові, а й генетичні зв'язки зі становленням Східносергіївського масиву тоналіт-порфірів і порфіроподібних тоналітів. Адже саме на північний захід від нього і далі вздовж Сергіївського субвулканічного тіла сформувалася характерна для родовища рудно-металогенічна зональність: $\text{Mo} \rightarrow \text{Au} + \text{Mo} \rightarrow \text{Au}$. Така зональність цілком узгоджується з рідкіснометалевим, раннім сульфідним і пізнім сульфідним мінеральними комплексами, які виділив Ю. В. Ляхов та ін. [3], що відображають загальну стадійність золото-моліб-

денового рудоутворення. Основний етап золотонакопичення втілювався в умовах циркуляції водно-солевих розчинів з концентрацією NaCl – 30–35 % у діапазоні температур 240–320 °C і тиску в системі мінералоутворення 100–136 МПа. За даними гомогенізації вкраплень молібденіт утворився в температурному інтервалі 200–450 °C.

Відомо, що штокверкові молібденоносні зони зазвичай розвиваються над гранітоїдними куполами та мають потужність до 300–400 м. Таким параметрам загалом відповідає і лінійно-штокверкове зруденіння Східносергіївського рудопроаяву, якщо припустити послідовне становлення спочатку Сергіївського субвулканічного тіла, а згодом Східносергіївського масиву. За такого геологічного розвитку найпотужніше та найбагатше зруденіння в апікальній і надкупольній частинах масиву, напевно, було еродованим і розміщувалося дещо південніше самого рудопроаяву. У процесі пошукових робіт (Л. О. Рязанцева та ін., 2004) відпрацьовано також структурну модель, згідно з якою теперішні контури розвитку мінералізації молібдену відповідають ще не розкритій буровими свердловинами рудогенерувальній апофізі Східносергіївського масиву, склепіння якої розміщується на глибині понад 300 м. Однак на сьогодні немає свідчень, які могли б підтвердити цей погляд. Ідеться про мінералого-геохімічну зональність, закономірні варіації інтенсивності зруденіння з глибиною тощо.

Певне генерувальне значення може мати також субмеридіональне продовження Солонянського субвулканічного тіла, адже за 4,5 км північніше до нього приурочене золото-молібденове зруденіння родовища Балка Золота.

У процесах рудовідкладення важливу роль відігравали Північносергіївський і Східносергіївський розломи, особливо ділянка перетину цих диз'юнктивних структур. Щодо субмеридіонального Східносергіївського розлому, то є велика ймовірність, що він був важливою рудопідвідною зоною для продуктивних молібденоворудних об'єктів СРП загалом. Адже до розміщеного за 2 км східніше Золотобалкинського розлому цієї системи тяжіють згадані вище молібденові руди родовища Балка Золота [9]. Формування штокверкових зон, перевідкладення і перерозподілення рудної речовини ймовірно відбувалися під впливом системи діагональних порушень північно-західного й південно-східного простягання.

Вік молібденових руд визначався двома методами: 1) за методикою хімічного поділу Re та Os і мас-спектрального визначення вмісту ізотопів у зразку зі сверд. 3222, глибина 219,5 м [14]; 2) прямим ядерно-фізичним методом із прецизійним вимірюванням спектра в зразку зі сверд. 3219, глибина 343,1 м. Обома методами отримано близькі значення віку, які становлять не менше ніж 3,1 млрд років.

Висновки. 1. Рудопроаяви молібдену, відомі в межах Солонянського рудного поля на півдні Сурської ЗКС, просторово асоціюють з рудними покладами золота, і ми їх розглядаємо як одні з найперспективніших не тільки на території Середнього Придніпров'я, але й на площі УЩ та в Україні загалом. Найкраще вивченим є зруденіння молібдену на східному фланзі Сергіївського комплексного Au-Mo родовища – Східносергіївський рудопроаяв.

2. Геологічна структура рудопроаяву – це вузол зчленування, що подібний до лежачої літери “Т”, субширотного Сергіївського й субмеридіонального Солонянського субвулканічних тіл і Східносергіївського масиву плагіогранітоїдів пізньої ВПА, які січуть базити ранньої ВПА.

3. Зруденіння молібдену – це лінійно-втягнені зони з хаотичною мережею малопотужних кварцових, карбонат-

кварцових прожилків і бідною (2–5 %) сульфідною мінералізацією, зокрема й молібденіту. Згідно з морфологією воно належить до комбінованого лінійно-штокверкового типу. Загалом виділено 20 лінійно-штокверкових рудних зон потужністю до 100–150 м за середнього вмісту молібдену від 0,01 до 0,3 %, інколи понад 1 %.

4. Виділяють два основні мінеральні різновиди молібденових руд: 1) кварц-молібденітовий; 2) кварц-сульфідно-золото-молібденітовий. Головним корисним компонентом є молібденіт. В асоціації з ним трапляється пірит, халькопірит, магнетит, зрідка – піротин, ще рідше – золото, арсенопірит, шееліт, телуриди вісмуту, срібла та ін. Типовими нерудними мінералами є кварц, карбонат, польовий шпат, хлорит, амфібол, біотит, серицит. Підвищений уміст молібдену й золота в одних і тих же перетинах спостерігають рідко, що вказує на роз'єднаність процесів золото- і молібденовідкладення.

5. Руди належать до власне молібденового мінерального типу, утворилися на завершальному етапі формування осадово-вулканогенного породного комплексу Сурської ЗКС, просторово й генетично приурочені до інтрузій помірно кислих плагіогранітоїдів і локалізовані в їхніх енто- та екзоконтактах. Припускають гідротермально-метаморфогенний генезис зруденіння молібдену. За геолого-промисловою класифікацією продуктивна мінералізація належить до штокверкового (лінійно-штокверкового) типу.

6. Промислові перспективи Сергіївського родовища, очевидно, є реалістичнішими за умови його комплексного освоєння, а не окремого видобутку золота й молібдену. Нині для підвищення інвестиційної привабливості родовища рекомендовано виконати комплексну оцінку ресурсів золота, молібдену, а також ренію й осмію в молібденіті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бобров О. Б. Новий тип золотого зруденіння в зеленокам'яних поясах Українського щита (за даними глибинного геологічного картування)//Вісник Львів. ун-ту. Сер. геол. – 1992. – № 11. – С. 82–88.
2. Дишук М. Ю., Коваль О. М., Лебідь М. І., Маликов Е. П. Геологічна будова Сергіївського родовища золота//Мінеральні ресурси України. – 1995. – № 3–4. – С. 4–7.
3. Ляхов Ю. А., Сиворонов А. О., Бобров О. Б., Павлух М. М. Флюїдний режим метаморфогенно-гідротермального зруденіння золота Сурської зеленокам'яної структури. (Український щит)//Мінералогічний зб. – 1994. – № 47. – Вип. 1. – С. 24–32.
4. Металічні і неметалічні корисні копалини України. Том 1. Металічні корисні копалини/Під ред. акад. М. П. Щербака і проф. О. Б. Боброва. – Київ – Львів: Вид-во “Центр Європи”, 2005. – 785 с.
5. Монахов В. С. Метасоматическая зональность Сурской синклинали. – К.: Наукова думка, 1986. – 190 с.
6. Синицин В. О., Сукач В. В. Формация монаховитів (середньотемпературних золотоносних субвулканічних кварц-карбонатних метасоматитів) в архейських зеленокам'яних товщах//Теоретичні питання і практика досліджень метасоматичних порід і руд: тези доповідей наук. конференції. – Київ: ІГМР НАН України, 2012. – С. 71–73.
7. Сукач В. В. Геологічна будова та золотоносність Солонянського рудного поля (Сурська структура, Середнє Придніпров'я)//Автореф. дис. канд. геол. наук: 04.00.01. – НАН України: Ін-т геол. наук. – К., 2002. – 17 с.
8. Сукач В. В., Некряч А. І., Бобров О. Б., Малих М. М., Монахов В. С. Речовинний склад та стратиграфічне положення золотовміщуючої аполлонівсько-сергіївської вулканоплутонічної асоціації (Середнє Придніпров'я, Український щит)//Геологія і магматизм докембрію Українського щита. – К., 2000. – С. 112–115.
9. Сукач В. В., Рязанцева Л. О. Комплексні золото-молібденові родовища та рудопроаяви в зеленокам'яних поясах Середнього Придніпров'я Українського щита//Мінеральні ресурси України. – 2018. – № 2. – С. 3–9.
10. Сьомка В. О. Генетичні типи молібдено- і вольфрамоносних метасоматитів Українського щита. – Київ: Наукова думка, 2019. – 256 с.

11. Сьомка В. О. Елементи-домішки в молібденітах із докембрійських комплексів Українського щита//Геохімія та рудоутворення. – 2009. – № 27. – С. 98–101.

12. Сьомка В. О., Квасниця І. В., Бондаренко С. М., Сьомка Г. В. Морфологічні, структурні та хімічні особливості молібденітів Українського щита//Мінерал. журн. – 2013. – 35, № 4. – С. 19–31.

13. Щербак Н. П., Артеменко Г. В., Лесная И. М., Пономаренко А. Н. Геохронологія раннього докембрія Українського щита. Архей. – К.: Наукова думка, 2005. – 241 с.

14. Stein H. J., Sunblad K., Markey R. J. et al. 187 Re – 187 Os ages for molybdenites from the Maiske and Sergeevske Au deposits//Geophys. Journal. – 1998. – No 4. – P. 114–117.

15. Syomka V. A. Genetic types of molybdenum mineralization in the Ukrainian Shield Precambrian//The abstracts of International Symposium “Metallogeny of Precambrian Shields” – Kyiv, Ukraine, September, 13–26, 2002. – 95 p.

REFERENCES

1. Bobrov O. B. New type of gold mineralization in greenstone belts of Ukrainian Shield (according to the deep geological mapping)//Visnyk Lviv un-tu. Ser. heol. – 1992. – № 11. – P. 82–88. (In Ukrainian).

2. Dyshchuk M. Yu., Koval O. M., Lebid M. I., Maliarov E. P. Geological structure of Serhiivske gold deposit//Mineralni resursy Ukrainy. – 1995. – № 3–4. – P. 4–7. (In Ukrainian).

3. Liakhov Yu. V., Sivoronov A. O., Bobrov O. B., Pavlun M. M. Fluidal regime of metamorphic-hydrothermal gold mineralization of Surska greenstone structure (Ukrainian shield)//Mineral. zb. – 1994. – № 47. – Iss. 1. – P. 24–32. (In Ukrainian).

4. Mineral deposits of Ukraine. Vol. 1. Metalliferous mineral deposits. Editors in chief M. P. Shcherbak, O. B. Bobrov. – Kyiv–Lviv: “Tsentr Yevropy” – 2006 – 785 p. (In Ukrainian).

5. Monahov V. S. Metasomatic zonation of Sura syncline. – Kiev: Naukova dumka, 1986. – 192 p. (In Russian).

6. Synysyn V. O., Sukach V. V. Formation of monakhovites (medium-temperature gold-bearing sub-volcanic quartz-carbonate metasomatites) in Archean greenstone belts//Teoretychni pytannia i praktyka doslidzhen metasomatychnykh porid i rud: tezy dopovidei nauk. konferentsii. – Kyiv: IHMR NAN Ukrainy, 2012. – P. 71–73. (In Ukrainian).

7. Sukach V. V. Geological structure and gold-bearing of the Solone ore field (Middle Dnipro region, Sura structure)//Aftoref. dys. kand. heol. nauk. – Kyiv, 2002. – 17 p. (In Ukrainian).

8. Sukach V. V., Nekriach A. I., Bobrov O. B., Malykh B. I., Monakhov V. S. Rock composition and stratigraphy of gold-bearing Apollonivka-Sergiiivka volcanic-plutonic association (Middle Dnipro, Ukrainian Shield)//Heolohiia i mahmatyizm dokemriiu Ukrainskoho shchyta. – Kyiv, 2000. – P. 112–115. (In Ukrainian).

9. Sukach V. V., Riazantseva L. O. Complex gold-molybdenum deposits and occurrences in greenstone belts of the Middle Dnipro region of the Ukrainian shield//Mineralni resursy Ukrainy. – 2018. – № 2. – P. 3–9. (In Ukrainian).

10. Somka V. O. Genetic types of molybdenum- and tungsten-bearing metasomatites of the Ukrainian Shield. – Kyiv: Naukova dumka, 2019. – 256 p. (In Ukrainian).

11. Somka V. O. Impurity elements in molybdenites from Precambrian complexes of Ukrainian Shield//Heokhimiiia ta rudoutvorennia. – 2009. – № 27. – P. 98–101. (In Ukrainian).

12. Somka V. O., Kvasnytsia I. V., Bondarenko S. M., Somka H. V. Morphological, structural and chemical properties of molybdenites of the Ukrainian Shield//Mineraloh. zhurnal. – 2013. – 35, № 4. – P. 19–31. (In Ukrainian).

13. Shcherbak M. P., Artemenko G. V., Lesnaja I. M., Ponomarenko O. M. Geochronology of Early Precambrian of Ukrainian shield. Archean. – Kiev: Naukova dumka, 2005. – 241 p. (In Russian).

14. Stein H. J., Sunblad K., Markey R. J. et al. 187 Re – 187 Os ages for molybdenites from the Maiske and Sergeevske Au deposits//Geophys. Journal. – 1998. – No 4. – P. 114–117.

15. Syomka V. A. Genetic types of molybdenum mineralization in the Ukrainian Shield Precambrian//The abstracts of International Symposium “Metallogeny of Precambrian Shields” – Kyiv, Ukraine, September, 13–26, 2002. – 95 p.

Рукопис отримано 22.01.2020.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ
УКРАЇНИ

З метою подальшого підвищення наукового рейтингу журналу та його дописувачів варто звернути увагу на таке:

1. Кожна публікація не англійською мовою супроводжується анотацією англійською мовою обсягом не менш як 1800 знаків (з ключовими словами). Якщо видання не є повністю українськомовним, кожна публікація не українською мовою супроводжується анотацією українською мовою обсягом не менш як 1800 знаків (з ключовими словами).

2. Вимоги до анотацій англійською мовою: інформативність (без загальних слів); змістовність (відображення основного змісту статті та результатів досліджень); застосування термінології, характерної для іноземних спеціальних текстів; єдність термінології в межах анотації; без повторення відомостей, що містяться в заголовку статті.

3. Прізвища авторів статей надаються в одній з прийнятих міжнародних систем транслітерації (з української — відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 55 від 27.01.2010 “Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею”, з російської — відповідно до “Системи транслітерації Библиотеки конгресса США”). Зазначення прізвища в різних системах транслітерації призводить до створення в базі даних різних профілів (ідентифікаторів) одного автора.

4. Для повного й коректного створення профілю автора дуже важливо наводити місце його роботи. Дані про публікації автора використовуються для отримання повної інформації щодо наукової діяльності організації і загалом країни. Застосування в статті офіційної, без скорочень, назви організації англійською мовою запобігатиме втраті статей у системі аналізу організацій та авторів. Бажаючи вказувати в назві організації її відомство за належністю.

5. В аналітичній системі SCOPUS потрібні пристатейні списки використаної літератури латиницею. Можливості SCOPUS дають змогу проводити такі дослідження: за посиланнями оцінювати значення визнання робіт конкретних авторів, науковий рівень журналів, організацій і країн загалом, визначати актуальність наукових напрямів і проблем. Стаття з представленим списком літератури демонструє професійний кругозір та якісний рівень досліджень її авторів.

6. Правильний опис джерел, на які посилаються автори, є запорукою того, що цитовану публікацію буде враховано в процесі оцінювання наукової діяльності її авторів, а отже й організації, регіону, країни. За цитуванням журналу визначається його науковий рівень, авторитетність тощо. Тому найважливішими складниками в бібліографічних посиланнях є прізвища авторів і назви журналів. В опис статті треба вносити всіх авторів, не скорочуючи їхньої кількості. Для уникнення неточностей в ідентифікації авторства й визначення персональних метрик (показників) бібліометрії авторам наукових публікацій потрібно використовувати персональні коди ORCID.

7. Для українсько- та російськомовних статей з журналів, збірників, матеріалів конференцій структура бібліографічного опису така: автори (транслітерація), переклад назви статті англійською мовою, назва джерела (транслітерація), вихідні дані, у дужках — мова оригіналу, ідентифікатор DOI.

8. Список використаної літератури (References) для SCOPUS та інших закордонних баз даних наводиться повністю окремим блоком, повторюючи список літератури до українсько- та російськомовної частини незалежно від того, містяться в ньому чи ні іноземні джерела. Якщо в списку є покликання на іноземні публікації, їх повністю повторюють у списку, який створюють у латинському алфавіті.

Рукопис статті до редакції автори подають зі своїми підписами.

УДК 553.043

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2020.1.12-14>

О. С. ПРОКОПЕНКО, технік-геолог (ТОВ "Геологічна сервісна компанія ГСК"), alex.prokop2206@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6817-1696>,
М. М. КУРИЛО, канд. геол. наук, доцент (Київський національний університет імені Тараса Шевченка), kurilo@mail.univ.kiev.ua,
С. М. КУЛИК, канд. геол. наук (Правобережна ГЕ ДП "УГК"), furgeol@ukr.net

O. PROKOPENKO, geo technician ("Geological service company GSC" LLC), alex.prokop2206@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6817-1696>,
M. KURYLO, Ph. D. in geology, assistant professor (Institute of Geology Taras Shevchenko National University of Kyiv), kurilo@mail.univ.kiev.ua,
S. KULYK, Ph. D. in geology (Pravoberezhna GE State Enterprise "UGK"), furgeol@ukr.net

ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ БОРТОВОГО ВМІСТУ ЗА ДОПОМОГОЮ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ НА ПРИКЛАДІ ВІТЧИЗНЯНИХ РОДОВИЩ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ

DETERMINATION AND CHOICE OF OPTIMAL CUT-OFF GRADE VALUE USING 3D MODELING ON THE EXAMPLE OF DOMESTIC BIF DEPOSITS

Одним з основних етапів під час підрахунку запасів є визначення бортового вмісту. Бортовий уміст розраховують на основі техніко-економічної оцінки, яка охоплює всі геологічні, економічні, технологічні й соціальні аспекти. Використовуючи тільки геологічну інформацію, можна вирахувати найсприятливіший бортовий уміст за допомогою геостатистики.

Основним параметром кондиції, який визначає якість запасів залізистих кварцитів, що потребують збагачення магнітною сепарацією, є бортовий уміст корисного компонента $Fe_{\text{магн}}$. У праці запропоновано методику вибору оптимальних значень бортового вмісту під час оцінки родовищ залізистих кварцитів на прикладі родовища Західного Приазов'я. Для визначення оптимальних бортових умістів за допомогою геостатистики й просторового моделювання проаналізовано динаміку зміни кількості запасів унаслідок зміни бортового вмісту, а також зважено на коливання середніх умістів корисних компонентів. Обґрунтовано оптимальні значення бортового вмісту $Fe_{\text{магн}}$, пов'язаного з магнетитом, у межах 12–14 %.

Зона найбільшої динаміки зміни кількості запасів зі збільшенням бортового вмісту в межах 12–18 % поза цим інтервалом коливання кількості запасів руди зі зміною бортового вмісту є мінімальною.

Ключові слова: бортовий уміст, залізисті кварцити, каркасна модель, блокова модель.

Ukraine is in 10 countries with the largest reserves of iron ores, and the iron ore industry and metallurgical complex are budgetary sectors economically important for the country. For now the mining and metallurgical complex is experiencing not the best of times, and experts say that Ukraine is not using its potential, as it should. One of the main steps in inventory calculation is the determination of boundary value. Boundary value is calculated on the basis of geological, economic, technological and social aspects. Using only geological information, you can calculate the most favorable boundary value using geostatistics.

The main cut-off parameter that determines reserves quality of ferruginous quartzites, which require enrichment by magnetic separation, is iron associated with magnetite $Fe_{\text{магн}}$. The paper proposes a tool for choosing the optimal cut-off grade values for evaluating BIF deposits using the example one of the West Azov group deposit. Comparison of cut-off parameters for reserves calculation of iron ores within the Azov Group deposits is carried out.

To find the optimal cut-off grade $Fe_{\text{магн}}$ using geostatistics and spatial modeling, we analyzed the dynamics of changes in the amount of reserves from changes of cut-off grade Fe . Fluctuations in average Fe grade also were taken into account. The paper substantiates the optimal cut-off grade values of Fe associated with magnetite in the range of 12–14 %.

The interval of the largest changes in reserves quantity with an increase is fixed for range of 12–18 %. Beyond this interval there is a minimal fluctuation of ore reserves quantity as a result of cut-off grade's changes.

In order to find optimal cut-off grade values using geostatistics and spatial modeling, it is necessary to follow the dynamics of reserves' quantity changes depend on Fe cut-off grade, as well as to take into account average Fe grade fluctuations when changing cut-off grade.

Keywords: cut-off grade, ferruginous quartzites, wireframing model, block modeling.

Вступ. Україна входить до десяти країн світу з найбільшими запасами залізних руд, а залізорудна промисловість і металургійний комплекс є бюджетотвірними галузями економіки, що мають для країни стратегічне значення. Відомі запаси і ресурси залізних руд локалізовані в межах п'яти основних залізорудних басейнів і районів: Криворізький басейн і Білозерський район багатих гематит-мартитових і магнетитових руд та магнетитових кварцитів; Кременчуцький і Приазовський райони магнетитових кварцитів; Керченський басейн бурих залізняків. Державним балансом запасів корисних копалин України враховано 60 родовищ залізних руд, з яких 26 перебувають на стадії

розроблення. Загальні розвідані балансові запаси залізних руд становлять 19725,9 млн т, попередньо оцінені за категорією C_2 – 7367,8 млн т, позабалансові – 4546,3 млн т [2]. Багаті залізні руди і залізисті кварцити добувають на родовищах Криворізького, Кременчуцького та Білозерського залізорудних басейнів.

Попри великі запаси та ресурси, вітчизняна мінерально-сировинна база має певні проблеми із забезпеченням гірничодобувних підприємств якісними рудами. Якість запасів залізних руд визначається параметрами кондиції для підрахунку запасів, які вибирають і обґрунтовують під час проведення геолого-економічної оцінки.

Аналіз останніх досліджень і окреслення не вирішених раніше проблем. Підрахунок запасів залізних руд у вітчиз-

няній практиці ґрунтується на положеннях Інструкції із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр до родовищ руд чорних металів (заліза, марганцю та хрому) [1], а обґрунтування вибраних параметрів кондицій – на Положенні про порядок розробки та обґрунтування кондицій на мінеральну сировину для підрахунку запасів твердих корисних копалин у надрах [3]. Згідно з названими документами перелік кондицій для підрахунку запасів залізних руд містить показники, які встановлюють граничні вимоги до якості та кількості мінеральної сировини в надрах, гірничо-геологічних умов залягання, гірничотехнічних та інших умов розроблення продуктивних покладів.

Метою дослідження є обґрунтування методики вибору оптимальних значень бортового вмісту під час оцінки родовищ залізистих кварцитів. У вітчизняній і міжнародній практиці оцінки зазвичай використовують вміст заліза, пов'язаного з магнетитом ($Fe_{\text{магн}}$). З'ясування бортових значень для підрахунку запасів має бути прийнятним і ефективним як для власника надр, так і надрокористувача.

Виклад основного матеріалу. Головними показниками кондицій для залізних руд у вітчизняній практиці є такі [3]: мінімальний промисловий вміст корисного компонента ($Fe_{\text{заг}}$, $Fe_{\text{магн}}$); бортовий вміст корисного компонента; мінімальний вміст корисного компонента в крайовому перетині; мінімальний промисловий вміст корисного компонента; максимально допустимий вміст шкідливих домішок у корисній копалині; мінімальна потужність покладів корисних копалин або відповідний мінімальний метропроцент; максимально допустима потужність прошарків порід і некондиційних руд, які охоплює контур підрахунку запасів; мінімальний коефіцієнт рудоносності (продуктивності) у підрахунковому блоці розвіданих запасів; мінімальні запаси віддалених покладів корисних копалин; максимально допустиме співвідношення

потужностей розкривних порід і корисної копалини в крайовому і внутрішньому перетині; межі підрахунку запасів.

Вибір перелічених параметрів кондицій може мати різні обґрунтування, що залежить від ступеня геологічного й техніко-економічного вивчення об'єкта. Головними напрямками обґрунтування можуть бути: 1) емпіричні дані ефективно розроблюваних залізрудних родовищ конкретного геолого-промислового й технологічного типу; 2) прямий розрахунок параметрів; 3) вихідні технічні й технологічні дані добувних підприємств, які розробляють родовище.

Основним параметром кондицій, який визначає якість запасів залізних руд, є бортовий вміст корисного компонента – мінімальний вміст корисного компонента в пробі, залучений до підрахунку запасів під час оконтурювання продуктивного покладу в перетині гірничою виробкою, якщо немає чіткого геологічного контакту.

Бортовий вміст заліза магнетитового в крайовій пробі об'єкта дослідження становить 12 %. Параметри кондицій обґрунтовано основними техніко-економічними показниками під час детальної геолого-економічної оцінки.

Методика ґрунтується на використанні інструментів блокового моделювання, оскільки це найсучасніший спосіб підрахунку запасів, і дає змогу оперативно отримувати багатоваріантні розрахунки кількості і якості запасів з різними бортовими значеннями $Fe_{\text{магн}}$.

Об'єктом вивчення є родовище з групи родовищ Західного Приазов'я, яке в геоструктурному плані приурочене до витягненої в північно-західному напрямку синклінальної складки.

Зіставлення параметрів кондицій для підрахунку запасів залізних руд родовищ Приазовської групи наведено в табл. 1.

Для вибору оптимального бортового вмісту стосовно цього об'єкта було проведено оцінку запасів за допомогою каркасного й блокового моделювання (рис. 1–4).

Таблиця 1. Зіставлення параметрів кондицій для підрахунку запасів залізних руд родовищ Приазовської групи

Родовища Приазовської групи	Бортовий вміст заліза магнетитового в крайовій пробі, %	Мінімальний промисловий вміст заліза магнетитового в підрахунковому блоці, %	Мінімальна промислова потужність рудних тіл, м	Максимальна потужність внутрішньорудних прошарків пустих порід і некондиційних руд, залучених до підрахунку запасів, м
Гуляйпільське	12		10	10
Маріупольське	14	16	10	15
Куксунгурське	14	16	10	10
Васинівське	16		10	10
Об'єкт оцінки	12		10	10

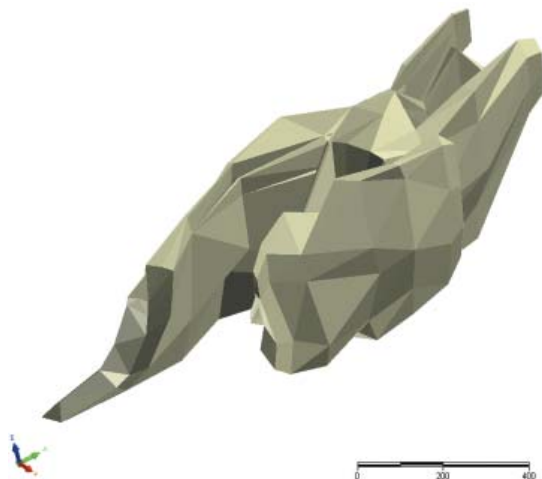


Рис. 1. Каркасна модель залізрудного родовища

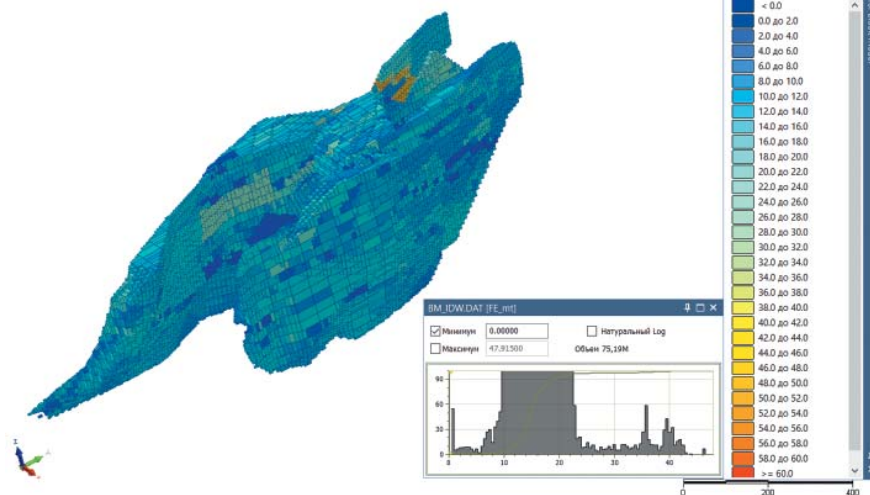


Рис. 2. Блокова модель родовища

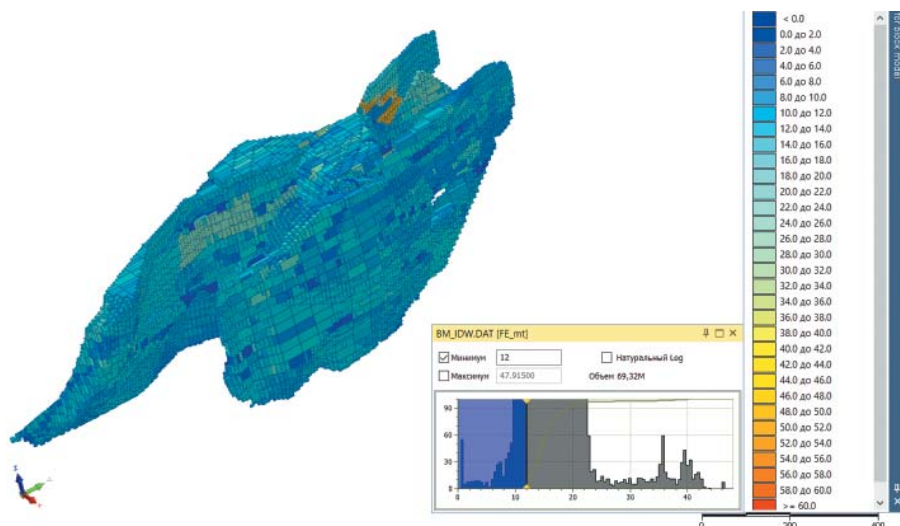


Рис. 3. Блокова модель з бортовим умістом заліза магнетитового 12 %

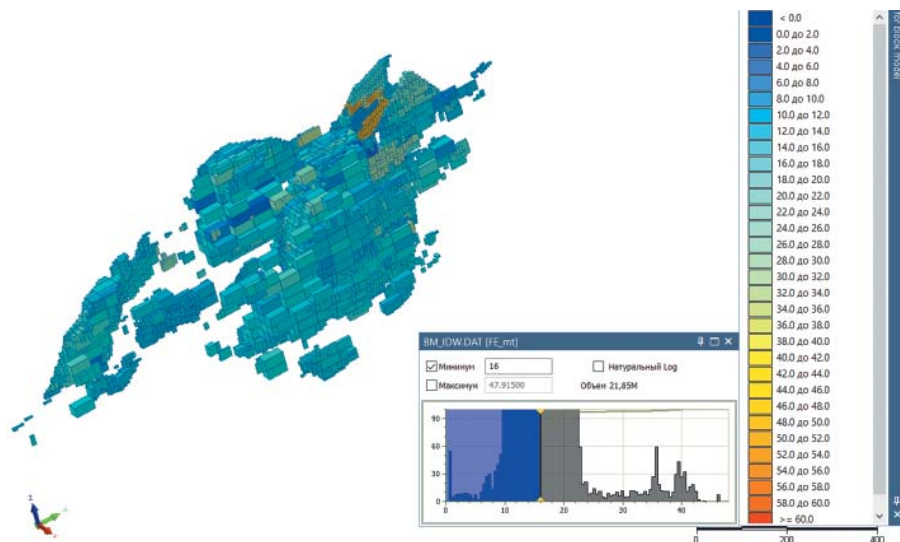


Рис. 4. Блокова модель з бортовим умістом заліза магнетитового 16 %

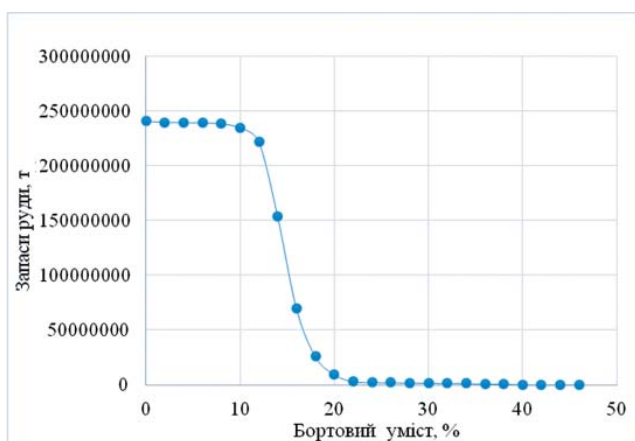


Рис. 5. Залежність кількості запасів від різних значень бортових умістів

Таблиця 2. Зіставлення обсягів запасів для варіантів бортового вмісту в інтервалі 12–18 %

Мінімальний бортовий уміст, %	Частка “природних запасів” Fe, залучена до кількості балансових запасів, %
12	92,2
14	64,1
16	29,2
18	10,9

Інтерполяцію вмістів корисних компонентів у блоковій моделі виконано методом IDW (Inverse distance weighting – метод зворотних відстаней) без обмеження ураганних умістів.

Висновки. Інструменти просторового моделювання дають змогу максимально оперативно визначати найефективніше значення бортового вмісту для підрахунку запасів. Для цього об’єкта дослідження – родовище магнетитових кварцитів Приазовської групи – обґрунтовано оптимальні значення бортового вмісту в межах 12–14 %. На рис. 5 наведено зону найбільшої динаміки зміни кількості запасів зі збільшенням бортового вмісту в межах 12–18 % (табл. 2). Поза межами цього інтервалу коливання кількості запасів руди зі зміною бортового вмісту – мінімальне.

Для з’ясування оптимальних бортових умістів за допомогою геостатистики й просторового моделювання варто простежити динаміку зміни кількості запасів зі зміною бортового вмісту, а також зважити на коливання середніх умістів корисних компонентів зі зміною бортового вмісту. У визначених межах з найбільшою динамікою варто провести кореляційний і регресійний аналізи зміни середніх умістів корисного компонента в руді й об’ємів руди в разі збільшення бортового вмісту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ руд чорних металів (заліза, марганцю та хрому). // <http://dkz.gov.ua/ua/diyalnist/normativno-pravova-baza>.
2. Мінеральні ресурси України. – Київ: Державне науково-виробниче підприємство “Державний інформаційний геологічний фонд України”; 2017. – 268 с.
3. Положення про порядок розробки та обґрунтування кондицій на мінеральну сировину для підрахунку запасів твердих корисних копалин у надрах, затверджене наказом ДКЗ від 7.12.2005 № 300.

REFERENCES

1. Instructions for the application of the Classification of mineral resources and resources of the State Fund for the Mining of Ferrous Ores (iron, manganese and chromium). <http://dkz.gov.ua/ua/diyalnist/normativno-pravova-baza>. (In Ukrainian).
2. Mineral resources of Ukraine. – Kyiv: Derzhavne Naukovo-vyrobnyche pidpriemstvo “Derzhavnyi informatsiyni heolohichnyi fond Ukrainy”; 2017. – 268 p. (In Ukrainian).
3. Regulations on the procedure of development and justification of mineral raw materials to calculate mineral resources in the bowels// Zatverdzhene nakazom DKZ vid 7.12.2005 № 300. (In Ukrainian).

Р у к о п і с о т р и м а н о 18.09.2019.

УДК 624.131

 <https://doi.org/10.31996/mru.2020.1.15-26>

Г. І. РУДЬКО, д-р геол.-мінерал. наук, д-р геогр. наук, д-р техн. наук, професор (Державна комісія України по запасах корисних копалин), office@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7752-4310>,

Є. О. ЯКОВЛЕВ, д-р техн. наук, головний науковий співробітник (Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України), yakovlev@niss.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6934-618x>

G. RUDKO, Doctor of Geology and Mineralogy, Doctor of Geographical Sciences, Doctor of Technical Sciences, professor (State Commission of Ukraine on Mineral Resources), office@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7752-4310>,

Ye. YAKOVLEV, Dr. of Technical Sciences (Institute of Telecommunications and Global Information Space, NAS of Ukraine), yakovlev@niss.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6934-618x>

СУЧАСНІ ЧИННИКИ РЕГІОНАЛЬНИХ ГРАНИЧНИХ ЗМІН ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ УКРАЇНИ

MODERN FACTORIES OF REGIONAL ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS OF UKRAINE CHANGES

У статті наведено аналіз сучасних регіональних змін інженерно-геологічних умов України внаслідок комплексного впливу техногенезу і глобальних змін клімату. Крім того, уточнено вплив різноманітності структурно-геологічної будови й природно-техногенних змін складу небезпечних екзогенних геологічних процесів на динаміку перетворення інженерно-геологічних умов регіонів.

Насамперед це пов'язано з переважанням лесових і лесово-суглинистих порід у верхній частині геологічного розрізу (до 65 % території держави) під час формування техногенно-геологічних систем “техногенний об'єкт – геологічне середовище”. Регіональна зарегульованість поверхневого стоку (каскад водосховищ р. Дніпро, до 38 тис. ставків, мережа каналів) суттєво порушила водо-енергообмін порід верхньої зони геологічного середовища, активізувала регіональні зміни геомеханічних параметрів (міцність на стискання, зчеплення, кут скошу тощо), підвищила чутливість до чинників глобальних змін клімату (збільшення величини й нерівномірності опадів, потепління тощо). Автори виконали оцінку нових процесів змін інженерно-геологічних параметрів лесів і лесово-суглинистих порід унаслідок порушення їхнього фізико-хімічного стану, впливу сейсмонапружень, комплексних перетворень геологічного середовища промислово-міських агломерацій (ПМА).

Аналіз засвідчив, що зміни інженерно-геологічних умов найактивніше розвиваються в межах ПМА, що зумовлено комплексним впливом утрат води й тепла з інженерних мереж, змінами рельєфу, геодинамічними впливами транспорту, будівельних робіт. Максимальні зміни інженерно-геологічних умов спостерігаються в містах і селищах розвинених (“старих”) гірничодобувних районів під час затоплення шахт, осідання поверхні, підтоплення й затоплення великих площ.

Показано, що потрібна нова модель Державної інженерно-геологічної карти України, наукове обґрунтування гранично припустимих змін інженерно-геологічних параметрів геологічного середовища для різних техногенно-геологічних систем “техногенний об'єкт – геологічне середовище”.

Ключові слова: небезпечні екзогенні геологічні процеси, геостатистичні розрахунки, промислово-міські агломерації, ґрунтові води, лесові породи, техногенно-геологічні системи.

The article analyzes modern regional changes in engineering and geological conditions of Ukraine due to the complex impact of technogenesis and global climate changes. This is primarily due to the predominance of loess and loamy loess rocks in the upper part of the geological section (up to 65 % of the state) in the formation of technogenic-geological systems “technogenic object-geological environment”. Regional regulation of surface runoff (a cascade of reservoirs of the Dnieper River, up to 38000 pounds, network of channels) significantly disrupted the water-energy exchange of rocks within the upper zone of the geological environment, intensified regional changes of geomechanical parameters (compressive strength, adhesion, angle of a slope) to the factors of global climate change (increasing magnitude and uneven rainfall, warming etc.).

The authors evaluated the new processes of changes in engineering-geological parameters of loesses and loamy loess' rocks due to the disturbances of their mass-energy (water-heat) transfer, the influence of seismic stresses, complex transformations of the geological environment of industrial-urban agglomerations. The performed analysis showed that changes in engineering-geological conditions are most actively developing within the sites of industrial-urban agglomerations, which is caused by the complex action of water and heat losses from engineering networks, changes in relief, geodynamic impacts of transport and construction works. Maximum changes of engineering-geological conditions within towns and settlements are observed in the developed (“old”) mining areas during the flooding of mines, subsidence of surface.

It is shown that a new model of the State Engineering-Geological Map of Ukraine is needed, scientific substantiation of the maximum permissible changes of the engineering-geological parameters of the geological environment for different technogenic-geological systems “technogenic object-geological environment”.

Keywords: hazardous exogenous geological processes, geostatistical calculations, industrial-urban agglomerations, groundwater, loess rocks, technogenic-geological systems.

Вступ. Упродовж більшої частини ХХ ст. територія України характеризувалася активним техногенезом головних життєзабезпечувальних природних ресурсів – земельних, водних, мінерально-сировинних, біотичних, а також регіональним забрудненням приземної атмосфери. Крім цього, верхня зона геологічного середовища була провідним накопичувачем (“депо”) більшої частини (до 70–80 %) техноген-

них впливів, насамперед пов'язаних з надрокористуванням, будівництвом, зарегульованістю поверхневого стоку землекористуванням. Переважне поширення на території України лесових і лесово-суглинистих порід (>65 %) спричинило високу чутливість інженерно-геологічних параметрів геологічного середовища до техногенезу, а в останні десятиріччя – до чинників глобальних змін клімату (потепління, зростання кількості й нерівномірності опадів, висоти й частоти повеней і паводків), сейсмо-геофізичної активності.

1. Етапи вивчення регіональних інженерно-геологічних умов України

Територія України характеризується надзвичайною різноманітністю інженерно-геологічних умов, що зумовлює їхню чутливість до техногенних навантажень з розмаїтим комплексом механічних, фізико-хімічних та інших впливів. Водночас у XX ст. ступінь регіональної геологічної вивченості території був зумовлений переважно перспективами пошуків і розвідки корисних копалин, традиційних для кожного регіону. Тому вивчення інженерно-геологічних умов головним чином визначалося конкретними завданнями, пов'язаними з будівництвом та експлуатацією громадсько-промислових і гірничорудних об'єктів, обґрунтуванням генеральних планів розвитку промислово-міських агломерацій (ПМА). Ділянки для наземного будівництва останніх вибрано з огляду на запобігання негативному впливу фізико-геологічних та інженерно-геологічних процесів і явищ [3, 7, 9].

На сьогодні накопичено великий обсяг результатів різноцільових досліджень, виконаних задля вивчення регіональних і територіально-об'єктових змін інженерно-геологічних умов, зважаючи на вплив на їхнє формування структурно-тектонічних, літолого-петрографічних, геодинамічних, кліматичних і еколого-геологічних умов території, особливостей чинників природного розвитку та техногенної активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів (НЕГП).

Основоположниками вчення про інженерно-геологічні процеси є Г. Н. Каменський і Ф. П. Саваренський. Уперше в 1936 р. Г. Н. Каменський запропонував геологічні процеси, пов'язані з інженерною діяльністю людини (будівництво та експлуатація споруд), називати інженерно-геологічними. Пізніше в 1959 р. І. В. Попов, а в 1962 р. Н. В. Коломенський і П. Н. Панюков виділили природні та інженерно-геологічні процеси.

На сучасному етапі в практику регіональних оцінок граничних змін інженерно-геологічних параметрів геологічного середовища (ГС) запроваджені довготривалі спостереження, моделювання процесів масо(водо)-енергообміну, великий комплекс оцінок природних і техногенних змін параметрів напружено-деформованого стану (НДС), інженерно-сейсмо-геологічних і геодинамічних впливів сейсмічності. У ХХІ ст. отримали розвиток оцінки інженерно-геологічного складника еколого-геологічного ризику як інтегрального показника змін техногенно-геологічних систем (ТГС) “техогенний об'єкт – геологічне середовище” (В. Т. Трофимов, В. М. Шестопапов, М. Г. Демчишин, Е. Д. Кузьменко, П. В. Блінов, А. М. Марченко, О. О. Непашев, А. В. Лущик, М. І. Швирило, Г. І. Рудько, Є. А. Черкез, Є. О. Яковлев та ін.).

Завершене на початку 90-х років XX ст. регіональне інженерно-геологічне картування території України в масштабі 1:500 000, і вибіркове в найбільш екологічно напружених районах у масштабі 1:200 000–1:50 000, засвідчило стійку динаміку критичних змін ГС під впливом техногенезу в зонах впливу великих ТГС (території Донбасу, Карпатського регіону, Причорномор'я, Придніпров'я тощо), більшості ПМА (Харківська, Запорізька, Дніпропетровсько-Дніпро-дзержинська, Одеська, Київська та ін.) і регіонального поширення лесових і лесово-суглинистих порід (ЛСП).

2. Характеристика регіональних інженерно-геологічних умов території України

Сучасне регіональне інженерно-геологічне зонування України ґрунтується на схемі виділення областей, яку роз-

робив В. С. Пономар (9, зокрема 5 у південно-західній частині Східноєвропейської платформи і 4 – у межах альпійської складчастості рис. 1).

Виділення інженерно-геологічних областей визначене різницею морфоструктурних, структурно-геологічних, літолого-петрографічних, ландшафтно-кліматичних, гідро-геологічних особливостей території, а також розчленуванням рельєфу, кутами нахилу схилів, спрямованістю та амплітудою неотектонічних рухів. Вищезгадані особливості території зумовлюють спрямованість прояву й розвитку в межах кожної інженерно-геологічної області НЕГП природного й техногенного походження.

На сучасному етапі регіонального розвитку ГС та формування ТГС господарська діяльність людини вносить суттєві зміни в природні інженерно-геологічні умови території, перебіг геологічних процесів, зокрема НЕГП. Упродовж останніх десятиліть активна урбанізація території країни (до 1445 міст і селищ міського типу загальною площею до 19 тис. км²), створення потужних гірничодобувних, гідротехнічних, гідромеліоративних, агропромислових та інших технологічних комплексів, атомних і теплових електростанцій призвели до збільшення техногенних навантажень на верхню зону ГС та активізацію НЕГП у регіональному плані. На територіях з інтенсивним розвитком промисловості, великою густиною населення і зосередженням чималої кількості підприємств гірничої промисловості (Донецько-Придніпровський економічний район) переважає техногенний характер змін регіональних інженерно-геологічних умов, зокрема під впливом виникнення, розвитку та активізації нових різновидів НЕГП (осідальність, хімічна і хімічна суфозія тощо).

Згідно із сучасними оцінками в Україні загалом помітний розвиток понад 20 різних типів екзогенних геологічних процесів і явищ, зокрема до п'яти особливо небезпечних ЕГП (рис. 2, табл. 1), які впливають на критичні зміни інженерно-геологічних умов на регіональному рівні. Унаслідок цього із 460 міст приблизно 85 потребують комплексного інженерного захисту, понад 250 з них підтоплені, до 150 зазнають впливу гравітаційних процесів, 50 розміщені на лесових осідальних ґрунтах. Критерієм підвищеної інженерно-геодинамічної небезпеки території потрібно вважати розвиток прояву декількох НЕГП або їхньої парагенетичної асоціації.

У районах інтенсивної господарської діяльності (Автономна Республіка Крим, Придністров'я, Передкарпаття, Донбас, Кривбас та інші) виявлено понад 4,5 тис. активних зсувів, 3 тис. карстових і суфозійно-карстових утворень. З початку 70-х років XX ст. ступінь ураженості території НЕГП збільшився майже вдвічі; водночас в останні десятиріччя зріс негативний вплив глобальних змін клімату на інженерно-геологічні умови функціонування господарських об'єктів, особливо просторово розвинених (нафтогазопроводи, залізниці тощо). За даними регіонального моніторингу ГС (ДНВП “Геоінформ”, УкрДГРІ, Держгеонадра) карст проявляється на 37 % території України, до того ж у межах впливу регіонального техногенезу швидкість процесів карстоутворення зростає майже втричі, селі розвинені на 70 % гірських водозаборів; підтоплення – на 80 % зрошувальних площ і в населених пунктах, розміщених у зоні впливу зрошення; зсуви – на 50 % освоєних схилів; осідання лесових порід – майже всюди, де вони поширені [3, 9].

Рис. 1. Схематична карта інженерно-геологічного районування України. Умовні позначення до рис. 1:

Регіони та області

А – Волино-Подільська плита і Передкарпатський прогин
 А-1 Акумулятивно-денудаційна рівнина Волинського Полісся
 А-2 Денудаційно-аккумулятивна рівнина Волинської височини
 А-3 Акумулятивно-денудаційна рівнина Малого Полісся
 А-4 Структурно-денудаційна рівнина Подільської височини
 Б – Український щит
 Б-1 Акумулятивно-денудаційні рівнини Житомирського Полісся
 Б-2 Структурно-денудаційно-аккумулятивні рівнини Придніпровської височини
 Б-3 Акумулятивно-денудаційні рівнини Придніпровської височини
 Б-4 Денудаційно-аккумулятивні рівнини Приазовської височини
 В – Дніпровсько-Донецька западина
 В-1 Акумулятивні рівнини-низовини Київського (В-1) і
 В-2 Чернігівського Полісся
 В-3 Акумулятивно-денудаційні рівнини Новгород-Сіверсько-Поліської низовини
 В-4 Денудаційно-аккумулятивна рівнина Київсько-Канівської височини
 В-5 Акумулятивна Черкасько-Прилуцька рівнина
 В-6 Акумулятивна Полтавська рівнина
 В-7 Акумулятивно-денудаційна рівнина Середньоруської височини
 Г – Донецький регіон
 Г-1 Денудаційна височина Волчансько-Берецької рівнини
 Г-2 Денудаційна залишкова Північна рівнина
 Г-3 Центральна рівнинна ділянка
 Г-4 Південнодонецька рівнинна височина
 Д – Причорноморська западина
 Акумулятивно-денудаційні рівнини
 Д-1 Дунай-Дністровська
 Д-2 Дністер-Дніпровська низовина
 Д-3 Дніпро-Молочанська низовина
 Д-4 Акумулятивно-денудаційні рівнини Гірського Криму
 Е – Індоло-Кубанський прогин (західна частина)



Е-1 Акумулятивно-денудаційні Керченська південно-західна (Е-1)
 Е-2 і північно-східна (Е-2) рівнини-низовини
 Ж – Карпатський регіон
 Ж-1 Акумулятивно-денудаційні рівнини Передкарпатської височини
 Ж-2 Середньо- і низькогірні масиви Зовнішніх Карпат
 Ж-3 Вододільно-Верховинські Карпати
 Ж-4 Середньовисотні Полонинсько-Чорногорські й Рахівсько-Чивчинські хребти
 З – Закарпатський регіон
 З-1 Низькогір'я Вигорлат-Іутинського вулканічного хребта
 З-2 Верхньотисенська котловина
 З-3 Закарпатська аккумулятивна рівнина з ділянками давніх вулканів
 І – Гірський Крим
 І-1 Моноклінальні низькогірні зовнішні й внутрішні гряди
 І-2 Середньо-і низькогірні хребти й масиви Головної гряди
 І-3 Низькогір'я Південного берега Криму

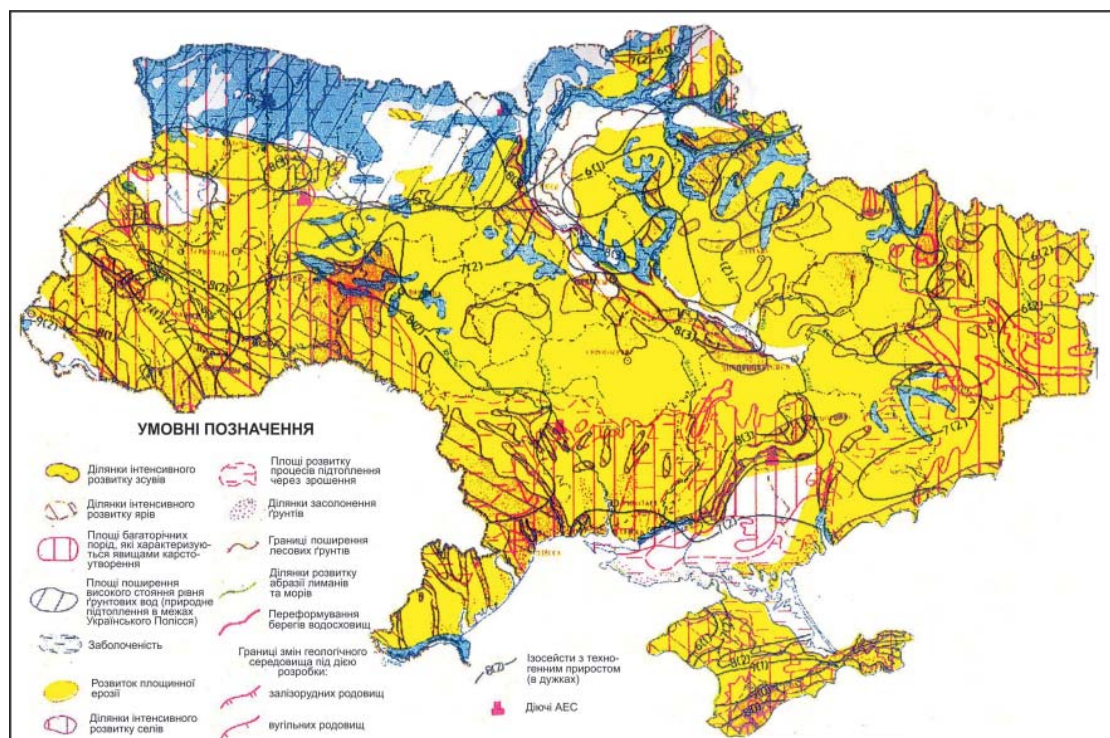


Рис. 2. Схематична карта поширення небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України, масштаб 1:5 000 000

Наведений стислий огляд свідчить, що розвиток господарського комплексу України відбувається в умовах активізації регіональних техногенних змін інженерно-геологічних параметрів геологічного середовища, наслідком яких є його граничний стан і далі збільшення кількості кризових явищ у техногенно-геологічних системах майже у всіх інженерно-геологічних регіонах України (див. табл. 1).

3. Провідні регіональні чинники критичних змін інженерно-геологічних параметрів геологічного середовища

За наявними методичними підходами зміни інженерно-геологічних умов переважно пов'язують з незворотними порушеннями складу й будови приповерхневої частини геологічного середовища, точніше окремих найменш стійких його елементів, переважно в зонах впливу об'єктів НЕГП. Здебільшого це пов'язано зі зростанням невідновності водо-енергообміну в зоні контакту літосфери з атмосферою та гідросферою. На регіональному рівні ці зміни можна поділити на дві групи:

- зміни фізичних полів ГС (вологості, властивостей порід, напружено-деформованого стану породних масивів тощо);
- зміни, пов'язані з формами прояву НЕГП, – розвитком наявних і утворенням нових, що веде до перетворення, руйнування двох компонентів ГС – порід і рельєфу [9, 10].

Аналіз можливих змін інженерно-геологічних параметрів ГС засвідчив, що особливості розвитку та прояву НЕГП зумовлені впливом на верхню зону ГС великої кількості природних і техногенних чинників і процесів. Поширення різних геологічних процесів і пов'язані з ними зміни геологічного середовища визначені особливостями геологічної будови, складом порід, тектонічними, геоморфологічними, гідрогеологічними, зонально-кліматичними та метеорологічними чинниками.

З'ясовано, що на регіональному рівні чинники, які зумовлюють розвиток припустимих (критичних) змін інженерно-геологічних параметрів ГС, доцільно розділити на три групи:

- 1) постійні (незмінні);
- 2) повільні;
- 3) швидкі.

Чинники першої групи (геологічна будова, рельєф) визначають генетичні особливості НЕГП та інтенсивність їх-

нього регіонального впливу на регіональні зміни інженерно-геологічних умов.

Чинники другої групи визначають загальну тенденцію регіональних змін активності розвитку НЕГП. Тут доцільно виділити дві підгрупи: основні (незалежні) і залежні. До першої підгрупи (незалежні) треба зарахувати тектонічні рухи та клімат; до другої (залежні) – загальні гідрогеологічні умови, ґрунти й рослинність.

Чинники третьої групи (швидкі) теж поділяють на дві підгрупи. До першої підгрупи (незалежні) зараховують гідрометеорологічні (атмосферні опади, температура, вітер) та гідрологічні умови (рівні води в морі й річках), а також сейсмічність (землетруси). Незалежні чинники третьої групи визначають активізацію НЕГП, але їхній вплив відбувається через залежні чинники – поверхневий стік, витрати води у водотоках, вологість, міцність і деформаційні властивості гірських порід.

Картографічне узагальнення просторово-часових параметрів прояву НЕГП свідчить про їхній активний вплив на формування критичних змін інженерно-геологічних умов більшості регіонів і великих ТГС (ПМА, гірничодобувні райони тощо) України (див. рис. 2).

Результати досліджень засвідчили, що на сучасному етапі формування інженерно-геологічних параметрів ГС впливовим чинником перевищення фонових показників просторового виникнення та активізації НЕГП є вплив глобальних змін клімату – зростання нерівномірності опадів, потепління, збільшення висоти й частоти повеней і паводків насамперед у зоні розвитку лесових і лесово-суглинчастих порід (до 65 % території України) [7–9].

Загалом аналіз даних табл. 1 та рис. 2 дає змогу зробити висновок, що найбільш комплексні регіональні зміни інженерно-геологічних параметрів ГС зумовлені розвитком процесів зсувоутворення й підтоплення у ПМА, які переважно розміщені в межах площ поширення лесових і лесово-суглинчастих порід. Критичні зміни ГС у гірничодобувних районах належать переважно до інженерно-геотехнічних (геомеханічних) унаслідок незворотних порушень рівноваги надр і тому проаналізований в складі програми Національної АН України “Стратегічні мінеральні ресурси” [7, 10].

Попередньо, задля вдосконалення припустимого впливу підтоплення на інженерно-геологічні умови ПМА, ми обґрунтували дві схеми розвитку цього процесу:

Таблиця 1. Характеристика регіонального поширення небезпечних екзогенних геологічних процесів (НЕГП) у покривних породах

Типові НЕГП	Літологічні типи покривних порід			Примітки*
	Флювіогляціальні, алювіальні (Полісся)	Лесовий, лесово-суглинчастий	Осадочний, пухкий	Динаміка розвитку, %
Зсуви	Обмежений	Схили долин, річок, балок тощо	Схилі комплексні	Значна (2–5)
Карст (суфозія)	Поля водорозчинних порід	Поля водорозчинних порід	Обмежений	Фоновий – середня (1–2)
Підтоплення	Переважно природне	Переважно техногенне	Переважно природне	Значна (2–5)
Осідання	Немає	Регіональне	Немає	Значна (2–5)
Ерозія	Обмежене	Регіональне	Локальне	Критична (5–10)
Абразія	Немає	Прибережні комплекси	Прибережні комплекси	Значна (2–5)
Селі	Немає	Немає	Карпатський, Кримський гірничі регіони	Локальна (від 1 до 10)

Примітка. * Рівні просторової активізації НЕГП: 1) до 1 % – фоновий; 2) 1–2 % – середній; 3) 2–5 % – значний; 4) 5–10 % – критичний; 5) > 10 % – катастрофічний.

– переважання впливу регіонального підняття рівня ґрунтових вод за умови достатньої стійкості підґрунтових порід до техногенного перезволоження (район Полісся з переважанням у верхній зоні геологічного розрізу піщаних проникних порід);

– розвиток локальних перезволожений порід зони ненасиченої фільтрації (зони аерації) з наступним формуванням техногенних водоносних горизонтів (водних куполів); спостерігається на територіях центрального й південного регіонів із широким розвитком слабопроникних осідальних лесових і лесово-суглинистих порід.

Варто зауважити, що другий тип підтоплення міст і селищ вирізняється підвищеним ризиком надзвичайних екологічних ситуацій і пов'язаних з ним руйнівних деформацій житлових і промислових споруд, підземних трубопровідних систем тощо (м. Дніпро, Кам'янське, Одеса, Маріуполь, схилі комплекси Криму, Прикарпаття). Водночас ми зважили на те, що регіональний розвиток підтоплення, зокрема з охопленням територій міст і селищ має стохастичну природу розвитку з одночасним впливом на активізацію зсувоутворення.

Статистичний аналіз зіставлення просторово-часової динаміки підтоплення та зсувоутворення на регіональному рівні й у межах міст і селищ (за 1982–2010 рр., частково до 2016 р.) свідчить, що вказана критична ситуація пришвидшеного підтоплення та зсувоутворення в ПМА була сформована до початку 90-х років XX ст. завдяки недосконалості містобудівельної діяльності на всіх її етапах – від інженерно-пошукових робіт до будівництва та експлуатації забудованих територій [2, 5–8].

На наш погляд, вплив вищевказаних чинників зберігається і сьогодні. Головною вадою більшості нормативних документів з інженерно-геологічних досліджень для будівництва є їхня обмеженість вивченням головних чинників взаємодії будинків і споруд з верхньою частиною геологічного середовища, яке формує підґрунтя. Водночас, як свідчать вищенаведені оцінки, вплив змін рівневого режиму річок і підземних вод зони активного водообміну й техногенних порушень, водного балансу внаслідок щораз більших втрат води й тепла у ПМА на умови будівництва виходить далеко за межі площ інженерно-будівельних вишукувань.

Останнє, без сумніву, призводить до дальшого розвитку площ підтоплення міст і селищ (вплив зростання техногенних втрат води та підвищених опадів і збільшення ризику надзвичайних ситуацій (НС)) і погіршення інженерно-геологічної та сейсмічної стійкості житлових і промислових споруд.

За цих умов геостатистичний аналіз збільшення площ регіонального підтоплення земель та зсувоутворення за 1982–2010 рр. і частково 2016 р. свідчить про експоненційну залежність їхнього багаторічного тренду збільшення (табл. 2, матеріали щорічників “Активізація небезпечних екзогенних

геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП”; 2010–2015 рр.).

Практична рівність показників регіонального збільшення площ підтоплення та кількості зсувних об'єктів за період 1982–2010 рр. (частково 2016) (відповідно 1,34 та 1,32) є свідченням генетичного зв'язку їхньої природно-техногенної активізації [1, 9, 10].

Тому, з огляду на статистичний характер виникнення і розвитку ділянок підтоплення та зсувоутворення, видається можливим припустити експоненційну динаміку їхнього збільшення за типовими залежностями такого типу:

$$S_{t,t} = S_{t,0} \cdot (e)^{\alpha_t} \text{ та } N_{t,t} = N_{t,0} \cdot (e)^{\alpha_t},$$

де $S_{t,0}$, $N_{t,0}$ – початкові розрахункові регіональні значення площі підтоплення та кількості зсувних об'єктів станом на 1982 р.; $S_{t,t}$, $N_{t,t}$ – кінцеві розрахункові регіональні значення площі підтоплення та кількості зсувних об'єктів станом на 2010 р. (2016 р.); α_t , α_t – коефіцієнти регіональної активізації процесів підтоплення та зсувоутворення за період моніторингу в 1982–2010 рр. (2016 р.); t – проміжок розрахункового часу моніторингових спостережень, $t = 28$ років.

Рішення вищезазначених рівнянь стосовно α_t , α_t через логарифмування їхніх обох частин $[\lg(2411/1840)] = \lg(e^{\alpha_t})$ та $[\lg(23116/17400)] = \lg(e^{\alpha_t})$ дають змогу визначити коефіцієнти регіональної активізації процесів підтоплення та зсувоутворення за період моніторингу в 1982–2010 рр. (2016 р.) як ($\alpha_t \approx \alpha_t$) $\approx 0,01$.

Отже, унаслідок аналізу й геостатистичних розрахунків за величину регіонального критерію припустимої активізації НЕГП (підтоплення, зсувоутворення) доцільно прийняти коефіцієнти регіональної активізації $\alpha \approx 0,01$.

Перевищення вище окресленого критерію є ознакою небезпечних змін екзогеодинамічного режиму ГС.

У зв'язку із цим для опосередкованого зображення на регіональному рівні співвідношення інженерно-геологічних небезпек комплексного впливу процесів підтоплення та зсувоутворення в лесово-породному масиві міст і селищ здійснено порівняння щільності їхнього розвитку з фоновими значеннями щільності на прилеглих територіях (рис. 3, 4).

Правомірність такого підходу зумовлена спостереженням:

– по-перше, еколого-геологічної еквівалентності (однотипності) впливу будівельних об'єктів міст і селищ на природні й техногенні зміни ГС (зміни тепло-вологорегулювання, несної здатності порід, техногенного навантаження тощо);

– по-друге, інженерно-геологічної еквівалентності провідних процесів, які відбуваються в ГС міст і селищ у зоні формування ТГС “будівельний об'єкт – ГС” (фільтрація, зміна приземного шару повітря, порушення профілю схилів та інше) у межах ПМА [1, 3, 6, 8–11].

Таблиця 2. Динаміка регіонального розвитку критичних НЕГП (підтоплення та зсувоутворення) станом на 1982–2016 рр.

Назва критичного НЕГП	Одиниця вимірювання	Динаміка регіонального розвитку		Збільшення за 1982–2010 рр., рази	Сучасний тренд розвитку
		1982	2010 (2016)		
Підтоплення регіональне, ПМА та локальні осідання поверхні	км ²	1840	2470	1,34	Переважна активізація у багатоводні роки
Зсувоутворення	Кількість зсувних об'єктів	17 400	23 116	1,32	Активізація на схилах

Розміщення ПМА в різних інженерно-геологічних умовах лесо-породного комплексу та різноманітність у їхніх межах ТГС “техногенний об’єкт – ГС” створює передумови для стійкого ускладнення екзогеодинамічних і геотехнічних умов у процесі штатної експлуатації інженерних споруд, особливо в аварійних ситуаціях. Причому геотехнічний ризик регіонального рівня залежатиме від просторової щільності: техногенних об’єктів, ділянок розвитку підтоплення і зсувів, а також від здатності верхньої зони ГС до активізації цих процесів в умовах зміни кліматичних параметрів і похідних змін у гідросфері та ландшафтах [5, 8, 12].

Треба також зважати на статистичний ефект, що в разі високого ступеня ураженості якимсь НЕГП (зсуви, підтоплення) на регіональному рівні знижується загроза подальшої активізації цих процесів на об’єктовому рівні. І навпаки, за невисокої регіональної ураженості НЕГП виникає високий ризик дальшої техногенної активізації зсувів, підтоплення та інших небезпечних процесів на об’єктовому рівні. Крім того, високий рівень прояву підтоплення супроводжується великим ризиком активізації саме зсувних процесів у межах міст і селищ.

Регіональні оцінки рівня геотехнічного ризику територій міст і селищ, розміщених на лесах і ЛСП, мають певну просторово-часову обмеженість. Попри це, вони дають змогу вперше оцінити рівень техногенної активізації процесів підтоплення та зсувоутворення і їхній комплексний вплив на техногенні перетворення інженерно-геологічного й еколого-геологічного стану ГС міст і селищ України, особливо в межах поширення лесо-породного комплексу.

Комплексний аналіз моніторингових, картографічних, дистанційних та інших матеріалів щодо регіональних параметрів формування ГС і ТГС засвідчив, що потужне техногенне навантаження на геосистеми призводить також до стійких змін інженерно-сейсмогеологічних умов переважно внаслідок розвитку підтоплення, активізації зсувів і техногенного карсту (соледобувні комплекси Карпатського регіону, Причорномор’я, АР Крим). Це зумовлює потребу уточнення інтенсивності сейсмічного струшування з огляду на його збільшення за умови наближення рівнів ґрунтових вод до фундаменту споруд або підтоплення порід підґрунтя та орієнтації сейсмохвилі щодо фронту зсувного тіла. Тобто

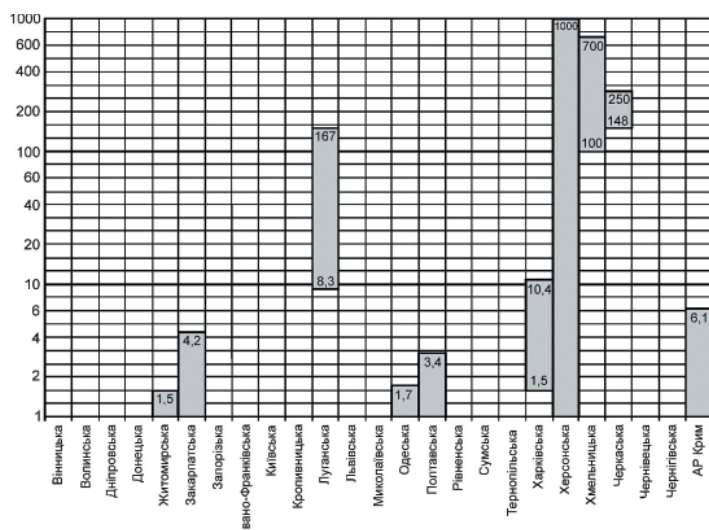


Рис. 3. Рівень техногенного збільшення площ підтоплення міст і селищ України стосовно фонових значень (станом на 2012 р., логарифмічна шкала)

внаслідок потужного техногенезу на більшій частині території України потрібно зважати на приріст сили сейсмічного струшування на 1–2 бали залежно від комплексу негативних чинників. Навіть у слабосейсмічних районах фіксують підвищення струшуваності під впливом техногенного навантаження, що збільшує площі розвитку НЕГП, і погіршення інженерно-геомеханічного стану ґрунтів під фундаментами чималих споруд. Великі гідротехнічні споруди, особливо водосховища біля ГЕС, ТЕЦ, АЕС також можуть спричинити локальні тектонічні рухи земної кори [5, 7, 11].

Для перезвожених ділянок у працях [6, 11, 12] через застосування методу інженерно-геологічних аналогій запропоновано доповнення до параметрів приросту сили сейсмічного струшування у вигляді розрахункового часу існування підвищеного порового тиску після проходження транзитної (регіональної або локальної) сейсмічної хвилі. Наявна залежність приросту сейсмічності (ΔI , балів; згідно з Комплектом карт Зонального сейсмічного районування ЗСР-2004) від зонального значення глибини рівня ґрунтових вод має таку структуру

$$\Delta I = \alpha \cdot e^{-0,04h^{2'}},$$

де h – глибина рівня ґрунтових вод (РГВ), м; α – коефіцієнт, величина якого залежить від літологічного складу (проникності та компресійних властивостей) верхньої зони РГВ.

Для перезвожених (підтоплених) ділянок у водочутливих, слабопроникних і осідальних лесових і лесово-суглинчастих ґрунтах $\alpha=1,0$, через що залежність набуває вигляду

$$\Delta I = 1,0 e^{-0,04h^{2'}}.$$

Для таких ґрунтів в інтервалі глибин РГВ 5÷1 м $\Delta I \approx 0,3 \div 1$ бал, тобто приріст сейсмічності має суттєві значення (рис. 5).

Водночас аналіз результатів досліджень регіональних змін інженерно-геологічних умов ТГС у більшості регіонів України свідчить про великі неоднорідності їхніх ґрунтово-геотехнічних умов (структурно-геологічних, гідрогеологічних, гідрологічних, ландшафтно-геохімічних тощо). Верхня частина геологічного розрізу більшої частини території, охопленої нашим дослідженням, складена товщею пухких осадових, переважно лесових і лесово-суглинчастих осідальних порід, які в сучасних умовах характеризуються активними змінами водно-фізичних і фізико-механічних властивостей.

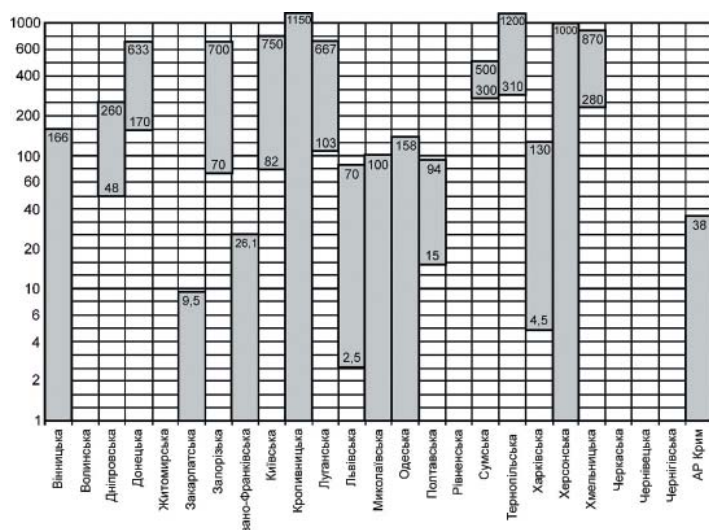


Рис. 4. Рівень техногенного збільшення щільності зсувів у містах і селищах України стосовно фонових значень (станом на 2012 р.)

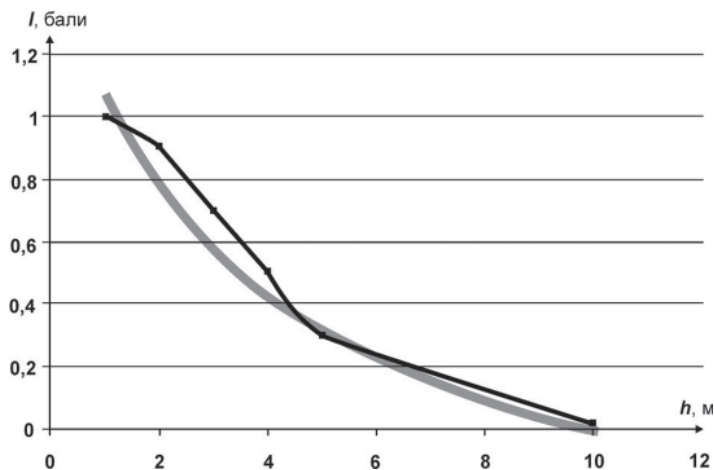


Рис. 5. Емпірична залежність приросту сейсмічності ΔI від глибини h рівня ґрунтових вод

Причому для типових (фонових непорушених) ділянок розрахункові прирости сейсмічної інтенсивності дорівнюють $\Delta I=0$ балів (приріст щодо зональної сейсмічності згідно із ЗСР-2004).

До нового чинника формування сейсмічного складника інженерно-геологічних умов можна, на наш погляд, зарахувати зниження геомеханічної стійкості лесових слабопроникних порід у підґрунті підтоплених фундаментів з уповільненим зниженням гідрогеодеформаційних напружень за умов проходження сейсмічної хвилі. Для них ми обґрунтували емпіричну залежність часу існування напружено-деформованого стану водонасичених порід підґрунтя (тривалості підвищеного порового тиску $t_{\text{пор}}$) під час проходження сейсмопоштовху (швидкість 1,0–1,5 км/сек). Набагато більший час існування підвищеного порового тиску, порівнюючи із часом проходження сейсмопоштовху (частка секунди), формує небезпеку виникнення додаткових гідрогеомеханічних напруг під час афтершоків, унаслідок чого можливе локальне розрідження порід підґрунтя і розвиток критичних деформацій інженерних споруд [2, 6, 11].

За розрахунковою схемою, обґрунтованою в працях [2, 6, 11], тривалість часу t зниження порового тиску в слабопроникних породах $P_{\text{пор}}$ з огляду на мінімальний розмір будівлі $S_{\text{min}} \approx 80$ м орієнтовно має таку величину

$$t \approx \frac{S^2}{2,25a},$$

де a – рівнепровідність слабопроникних стиснутих порід у підґрунті будівлі, що обчислюється за формулою

$$a = \frac{kh}{\mu},$$

де: k – коефіцієнт фільтрації слабопроникних порід (суглинків, лесів, піщано-глинистих прошарків), $k \approx 1,0$ м/добу, h – товщина шару ґрунтового горизонту за умови контакту його рівнів з дном фундаменту, $h \approx 20$ м, μ – коефіцієнт водовідданності, $\mu \approx 0,1$.

Згідно з наведеними попередніми оцінками:

$$t \approx \frac{80^2 \cdot 10^{-1}}{2,25 \cdot 1,0 \cdot 20} \approx 14 \text{ діб}$$

Однак у цих будівельних нормах не зважено на специфічний для лесових порід часовий складник $t_{\text{пор}}$ приросту сейсмічного ризику, зумовлений уповільненим зниженням “стрибка” порового тиску після проходження сейсмічної хви-

лі в слабопроникних лесових формаціях. Отримані, з огляду на дані сейсмічного мікрорайонування, оцінки гідрогеофільтраційної реакції підґрунтя будівель на потенційні сейсмічні впливи й пов’язані із цим зміни інженерно-геологічних умов указують на небезпеку довготривалого утримання піднятих порового тиску. Небезпечним наслідком цього може бути порушення гідрогеомеханічної рівноваги системи “мінеральний скелет – порова вода” та її перехід у пливунний або тиксотропний стан з розвитком руйнувань.

4. Критичні ускладнення інженерно-геологічних умов промислово-міських агломерацій України

Аналіз складу регіональних змін гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов міст і селищ України (1980–2015 рр.) засвідчив, що головним чинником погіршення й одночасного підвищення ризику надзвичайних ситуацій (НС) інженерно-геологічного походження в ПМА на лесово-осідальних ґрунтах є підтоплення їхніх територій і зсувоутворення в їхніх межах. Крім того, головною особливістю ГС у межах таких ПМА є його постійно наростаюча змінність, унаслідок чого за своїми інженерно-геологічними, гідрогеологічними, геодинамічними та геотехнічними параметрами ТГС мають нестабільний характер в умовах збереження техногенних навантажень (водно-балансових, теплових, динамічних тощо).

Загалом геологічне середовище міст і селищ разом з їхньою техногенною інфраструктурою (житлова й промислова забудова, водо-енергетичні та транспортні комунікації тощо) формують складну ТГС “інженерні об’єкти міста – ГС”, яка є головним “депо” техногенних чинників впливу на інженерно-геологічні параметри лесів і ЛСП, у межах яких розміщена більшість ПМА України.

У загальному петрографічному плані до лесових порід належать породи, що мають поруватість 45–50 %, знижену природну вологість (7–20 %), фільтраційну анізотропію (водопроникність у вертикальному напрямі в 5–25 разів перевищує горизонтальну). Специфічною інженерно-геологічною властивістю лесових і лесово-суглинчастих порід інженерно-геологічних морфоструктур України є підвищений уміст пилюватих фракцій (до 45 % і більше) із чималою пайкою глинистих часток (розміром до 0,1 мм) – до 1–3 %. Лесуваті відклади України часто мають укріплення карбонатних сполук (гіпс, ангідрид – до 1–6 %), розчинення яких призводить до зниження міцності лесових товщ, формування агресивних порових розчинів, розвитку тиксотропно-пливунних процесів [1–3, 7, 9, 10].

Аналіз здійснених в останні десятиліття досліджень механізму формування головної інженерно-геологічної властивості лесових порід – осідальності – підтверджує (В. А. Корольов, В. Т. Трофимов, В. С. Круподьоров, О. М. Трофимчук, Ю. І. Калюх та ін., 1998–2010), що вона виявляється в будь-яких пилюватих ґрунтах, зокрема лесових, але лише за визначених співвідношень твердої, рідкої і газової (порової повітря) фаз.

Згідно з чинними будівельними нормами (ДБН В.2.5-41-2009, ДБН В.1.2-2:2006) лесові породи, залежно від можливості й динаміки прояву їхнього просідання від власної ваги в умовах забудови, поділяють на два типи:

- 1) ґрунтові умови, за яких можливе осідання від зовнішнього навантаження, але від власної ваги неможливе або не перевищує 5,0 см;
- 2) ґрунтові умови, за яких, крім осідання від зовнішнього навантаження, можливе осідання від власної ваги понад 5,0 см.

За даними геологознімальних робіт Мінгео УРСР (ДНВП “Геоінформ”, Інститут мінеральних ресурсів, УкрДГРІ) та Інституту геологічних наук НАН України на території України лесові ґрунти поширені на площі 340 тис. км² (57,5 %); з них лесові й лесово-суглинисті формації I типу охоплюють 162,5 тис. км² (27 %), II типу – 47,5 тис. км² (8 %), решта – неосідальні (табл. 3).

Аналіз картографічних матеріалів, який підготували автори, засвідчив, що найскладніші інженерно-геологічні умови (II тип ґрунтових умов) у межах лесово-осідального породного масиву формуються в Придніпровському, Південному, Східному (зокрема Донецькому) регіонах.

Для цих регіонів характерні комплексні зміни водно-балансового й геодинамічного стану лесових порід на великих площах, що пов'язано з регіональним розвитком підтоплення земель і будівництвом численних житлових, промислових, гідротехнічних, транспортних об'єктів. В Україні, крім Дніпровського каскаду водосховищ із середнім підпором ґрунтових вод 8–10 м, функціонує до 39 тис. ставків і водосховищ із середнім підпором 1,4–4,0 м (табл. 4). Це на великих площах призвело до повного водонасичення лесових товщ за схемою “знизу-вгору”, коли зниження міцності компенсується осіданням великих шарів або нерівномірними деформаціями підґрунтя. Крім того, виконані в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (ІТГІП НАНУ) дослідження впливу регіональної втрати природної дренажності через масштабне (до 70–80 %) зарегулювання річкової мережі фіксують підсилення впливу чинників глобальних змін клімату (ГЗК): потепління, збільшення кількості й нерівномірності опадів, висоти і частоти повеней і паводків, активізація інфільтрації тощо на зниження міцності лесово-осідальних товщ, тобто на їхню інженерно-геологічну деградацію [7–9, 12].

В Україні загалом до 70 % ПМА розміщені на території поширення лесових порід, причому в 560 містах і селищах загальна площа підтоплення перевищує 2000 км² [7, 8, 12]. Водночас у ПМА є до 60 тис. аварійних і старих будівель, рівень ризику руйнування яких на лесових ґрунтах сягає $n(10^{-2} \div 10^{-3})$, що на 1–2 порядки перевищує показники розвинутих країн ЄС (табл. 5).

Дослідження проф. Г. І. Рудька, проф. М. Г. Демчишина, проф. Є. А. Черкеза дають змогу дійти висновку, що в структурі ПМА утворюються складні ТГС “техногенний об'єкт – геологічне середовище”, інженерно-геологічні параметри яких у масиві лесових порід формуються за умов зосередження впливу різноманітних техногенних чинників.

Згідно з результатами досліджень [8, 9, 12], загальна кількість техногенних чинників впливу на лесово-породний комплекс у межах ПМА може перевищувати 20 різновидів, зокрема інженерно-геологічних, будівельних, фізичних, фізико-хімічних, соціально-економічних тощо. До того ж вплив окремих груп техногенних чинників супроводжується розвитком порівняно однакових змін у ТГС у різних регіонах України.

Ми виконали оцінку основних регіональних чинників еколого-геологічного впливу на зміни інженерно-геологічного стану лесових порід унаслідок комплексного впливу регіонального підтоплення (відбувається на 30 % території держави, табл. 6), сейсмострушувань від транзитних землетрусів (зона Вранча, АР Крим) великорозмірних об'єктів, зсувних ділянок тощо.

Дослідження [1, 3, 7, 10] дають змогу дійти висновку, що більша частина лесово-суглинистого чохла в межах території України на сучасному етапі комплексного впливу підтоплення, сейсмострушувань і місячно-сонячних припливів може також перебувати в стані поступового додаткового

Таблиця 3. Площі розвитку лесових порід за типами ґрунтових умов в Україні

Адміністративна область	Площа, тис. км ²	Чисельність населення, млн осіб	Площа поширення лесових порід, тис. км ²	Площа поширення осідальних лесових порід: тис. км ² ; % площі регіону			
				I тип	%	II тип	%
АР Крим	27,0	1,96	9,9	3,04	11,3	0,33	1,2
Вінницька	26,2	1,65	17,3	12,41	47,4	0,92	3,5
Волинська	20,2	1,04	3,3	3,08	15,2	0,00	0,0
Дніпропетровська	31,9	3,35	21,2	7,10	22,3	6,36	19,9
Донецька	26,5	4,46	18,3	5,18	19,5	0,85	3,2
Житомирська	29,9	1,29	4,3	3,65	12,2	0,00	0,0
Закарпатська	12,8	1,24	3,9	0,41	3,2	0,00	0,0
Запорізька	27,2	1,81	21,0	10,80	39,7	6,00	22,1
Івано-Франківська	13,9	1,38	6,2	0,78	5,6	0,00	0,0
Київська	28,9	4,32	14,7	8,75	30,3	0,46	1,6
Кіровоградська	24,6	1,02	17,6	7,85	31,9	7,51	30,5
Луганська	26,7	2,31	15,2	3,52	13,2	0,35	1,3
Львівська	21,8	2,55	9,6	2,41	11,1	0,00	0,0
Миколаївська	24,6	1,19	17,9	6,97	28,3	0,47	1,9
Одеська	33,3	2,39	24,9	7,85	23,6	6,00	18,0
Полтавська	28,8	1,50	18,8	11,47	39,8	1,67	5,8
Рівненська	20,1	1,15	3,9	3,75	18,7	0,00	0,0
Сумська	23,8	1,17	12,6	8,91	37,4	1,20	5,0
Тернопільська	13,8	1,09	11,3	6,35	46,0	0,00	0,0
Харківська	31,4	2,77	20,6	11,29	36,0	2,91	9,3
Херсонська	28,5	1,09	22,7	5,92	20,8	9,17	32,2
Хмельницька	20,6	1,33	14,3	12,66	61,5	0,00	0,0
Черкаська	20,9	1,29	13,0	5,99	28,7	2,72	13,0
Чернівецька	8,1	0,91	4,7	3,51	43,3	0,00	0,0
Чернігівська	31,9	1,11	13,4	8,88	27,8	0,54	1,7
Разом	603,4	45,38	340,4	162,51	26,9	47,46	7,9

Таблиця 4. Техногенні водні об'єкти України (1.01.2010 р.)

№ з/п	Адміністративна область	Параметри водосховищ і ставків			
		Кількість	Площа, тис. га	Об'єм, млн м³	Середня глибина, м
1	Вінницька	3286	34,74	602,30	1,73
2	Волинська	452	6,24	99,81	1,60
3	Дніпропетровська	1563	34,22	1183,90	3,46
4	Донецька	1161	28,23	1086,10	3,85
5	Житомирська	868	16,80	278,00	1,65
6	Закарпатська	68	1,56	605,30	3,88
7	Запорізька	925	11,10	263,00	2,37
8	Івано-Франківська	623	3,04	94,50	3,11
9	Київська	2447	25,80	44,80	1,72
10	Кіровоградська	2269	25,70	497,80	1,94
11	Луганська	417	9,30	302,50	3,25
12	Львівська	1262	10,30	180,60	1,75
13	Миколаївська	909	15,30	407,70	2,66
14	Одеська	883	85,10	2029,70	3,39
15	Полтавська	1339	22,30	424,50	1,90
16	Рівненська	669	10,18	147,29	1,47
17	Сумська	1245	14,50	275,70	1,90
18	Тернопільська	901	9,50	13,87	1,46
19	Харківська	1991	42,30	1644,70	3,89
20	Херсонська	391	33,60	333,70	0,99
21	Хмельницька	22,2	1,08	1,37	н. д.
22	Черкаська	2349	22,90	363,20	1,59
23	Чернігівська	698	9,70	139,00	1,43
24	Чернівецька	485	17,20	3046,00	17,71
25	АР Крим	897	8,60	493,00	5,73
Усього по Україні		31876	546,00	115264,00	3,11

Таблиця 5. Інженерно-геотехнічний стан житлового фонду у ПМА України (2015 р.)

№ з/п	Регіон	Кількість житлових будинків усього, тис. одиниць	Старі житлові будинки		Аварійні житлові будинки		Рівень потенційної загрози руйнації n·10 ⁻⁵
			одиниць	%	одиниць	%	
1	АР Крим	332,69	937	0,28	161	0,05	350
2	Вінницька	569,43	3018	0,53	878	0,15	685
3	Волинська	232,37	1299	0,56	229	0,10	665
4	Дніпропетровська	608,02	1740	0,29	258	0,04	330
5	Донецька	849,50	4946	0,58	1617	0,19	764
6	Житомирська	380,47	2870	0,75	515	0,14	895
7	Закарпатська	303,01	911	0,30	237	0,08	380
8	Запорізька	351,67	827	0,24	232	0,07	328
9	Івано-Франківська	340,77	972	0,29	347	0,10	383
10	Київська	525,56	2614	0,50	451	0,09	585
11	Кіровоградська	318,77	149	0,05	19	0,01	53
12	Луганська	518,39	1793	0,35	231	0,04	388
13	Львівська	453,59	1336	0,29	430	0,09	390
14	Миколаївська	269,96	1456	0,54	623	0,23	780
15	Одеська	481,42	4258	0,88	1314	0,27	1150
16	Полтавська	422,61	1389	0,33	210	0,05	380
17	Рівненська	261,67	1414	0,54	235	0,09	635
18	Сумська	330,84	1836	0,55	270	0,08	638
19	Тернопільська	285,86	897	0,31	490	0,17	485
20	Харківська	495,53	4177	0,84	547	0,11	970
21	Херсонська	285,76	1011	0,35	323	0,11	475
22	Хмельницька	380,42	1566	0,41	309	0,08	494
23	Черкаська	429,24	2728	0,64	590	0,14	750
24	Чернівецька	246,17	977	0,40	286	0,12	509
25	Чернігівська	393,51	836	0,21	100	0,03	238
26	м. Київ	33,68	356	1,06	6	0,02	109
27	м. Севастополь	30,10	86	0,29	54	0,18	470
Усього по Україні		10313,00	46449	0,45	10962	0,11	557 (середнє)

зниження міцності внаслідок багаторазового вивільнення пружної енергії гідрогеодеформаційних полів природного й техногенного походження. За оцінками фахівців (В. А. Ніколаєв, М. М. Довбник, В. І. Старостенко, Б. Г. Пустовойтенко, О. В. Кендзера, І. Б. Абрамов, А. В. Луцки, Г. Г. Стрижельчик, В. А. Соколов, Т. В. Кріль та ін.) максимальні значення

стискувальних, розтягальних і вертикальних торкальних напруг місячно-сонячних припливів становлять відповідно: 0,2; 0,1; 0,02 кг/см².

Важливо зазначити, що величина стискувальних напруг за припливних процесів у в'язко-пластичному масиві перезвожених лесів і ЛСП майже дорівнює мінімальному осідальному

Таблиця 6. Регіональна динаміка процесів підтоплення в Україні

№ з/п	Області	Підтоплено в 1982 р. (дані обстеження)			Регіональний прояв підтоплення у 1999–2008 рр. (Держгеолслужба, картографічні оцінки)			Відношення показників 1999–2008 рр. до показників 1982 р., рази	
		Міст і селищ	Сіл	Площа підтоп- лення земель, тис. га	Міст і селищ	Сіл	Площа підтоплення земель, тис. га	Міст і селищ	Площа регіонального прояву підтоплення земель
1	Вінницька	4	175	30,2	10	122	89,5	2,5	2,96
2	Волинська	1	–	0,02	11	36	12910,0	11,0	–
3	Дніпропетровська	30	124	104,3	43	226	728,5	1,43	7,00
4	Донецька	10	95	35	42	41	303,5	4,20	8,67
5	Житомирська	1	–	0,2	55	–	1975,9	55,00	–
6	Закарпатська	–	–	–	27	32	302,4	–	–
7	Запорізька	13	196	72,9	24	32	319,3	1,84	4,37
8	Івано-Франківська	–	–	–	–	–	0,78	–	–
9	Київська	5	18	21,1	23	5	810,7	4,60	–
10	Кіровоградська	5	8	1,0	11	–	14,2	2,20	14,2
11	Луганська	38	113	48,1	34	60	16,4	0,89	0,34
12	Львівська	1	8	15,2	17	119	21,7	17,00	1,43
13	Миколаївська	8	126	73,5	10	80	1282,0	1,25	17,5
14	Одеська	35	127	136,9	40	374	1352,0	1,14	9,90
15	Полтавська	13	292	81,4	22	–	851,3	1,69	10,45
16	Рівненська	–	–	0,3	19	17	1279,2	–	–
17	Сумська	9	13	39,7	20	–	42,3	2,22	1,06
18	Тернопільська	–	–	–	10	80	–	–	НВ
19	Харківська	17	213	77	32	158	301,9	1,88	3,92
20	Херсонська	15	111	62,2	19	85	1045,4	1,26	16,85
21	Хмельницька	12	–	1,7	19	1	–	1,58	–
22	Черкаська	4	47	35,4	8	10	8,0	2,00	0,22
23	Чернівецька	14	24	2,6	18	–	41,6	1,28	16,0
24	Чернігівська	8	–	43,2	11	–	442,6	1,37	–
25	АР Крим	11	151	110,8	12	153	442,5	1,09	4,0
Україна, разом		254	1841	992,7	537	1631	–	2,11	–

тиску й статичному напруженню зрушення тиксотропно перетворених лесових порід, що може формувати локальні зони з нестійкими інженерно-геологічними умовами. Також не унеможливується поява (на лесово-суглинистому водонасиченому підґрунті) тригерних ефектів у структурі ТГС з руйнівними наслідками для потенційно небезпечних об'єктів (ПНО).

За результатами досліджень змін інженерно-геологічного стану лесово-породного масиву в умовах техногенного перезволоження [1, 6, 8, 9] можна визначити три основні етапи перетворення його геомеханічного стану:

- 1) зниження міцності й формування неоднорідностей поля напруг з ризиком розвитку ділянок їхньої критичної (руйнівної) концентрації;
- 2) зменшення проникності з одночасним збільшенням часу існування порового тиску в системі “мінеральний скелет – вода”;
- 3) формування техногенної водонасиченої зони у покривельному водоненасиченому шарі ґрунтового водоносного горизонту з нерівноважним гідрогеохімічним складом і агресивністю води до бетону й металевих конструкцій.

Аналіз просторового розподілу ПМА за складністю регіональних інженерно-геологічних умов показав, що їхній історичний розвиток і сучасне функціонування здебільшого відбуваються в умовах рівнинного рельєфу із широким розвитком осідальних лесових і лесово-суглинистих ґрунтів. У цих умовах порушення природного водного й теплового балансу верхньої зони ГС у межах ПМА сприяло активному підняттю РГВ та активізації процесу підтоплення міст і селищ: за останні 35 років їхня загальна кількість (>540 ПМА) та площа підтоплення (до 200 тис. га, приблизно 11 % загальної площі) зросли більше ніж удвічі.

Про чималий геотехнічний вплив водно-теплових утрат із водопровідно-каналізаційно-теплових мереж (ВКТМ) міст і

селищ (загальна протяжність водопровідних, каналізаційних і теплоенергетичних мереж відповідно 127,39 та 41 тис. км за 35–45 % аварійних) на інженерно-геологічний стан ГС свідчить їхня загальна середня щільність, яка сягає 11,0 км/км².

У цих умовах привертає увагу те, що довгостроковий просторово-часовий режим водо-теплових втрат із ВКТМ унаслідок незадовільної гідроізоляції призводить до стійкого підняття РГВ, додаткових деформацій конструкцій будівель і пришвидшення їхнього старіння і зношення [2, 6, 8, 9, 11].

Авторські розрахунки свідчать, що за сучасних втрат води в межах ПМА близько 1,2 млрд м³/рік техногенне додаткове живлення ґрунтового горизонту на площі міст і селищ (19,6 тис. км²) у середньому сягає 1,2·10⁹ м³/рік (19,6·10³ км²·10⁶ м³)≈0,062 м≈62 мм/рік (або 2,0 л/сек км²), що майже вдвічі перевищує багаторічні регіональні значення (~1,0 л/сек км²) інфільтраційного живлення ґрунтового водоносного горизонту (ГрВГ) і тому сприяє підвищенню його рівня та дальшої активізації підтоплення міст і селищ.

З огляду на вищенаведене можна зробити припущення, що в останні два-три десятиріччя сучасний стан ВКТМ є головним чинником розвитку підтоплення та погіршення інженерно-геологічних умов житлових і промислових споруд більшості ПМА України, а також зростання ризиків НС інженерно-геологічного та геотехнічного походження в межах поширення осідальних лесів і ЛСП.

Головними чинниками техногенної активізації осідальних процесів за результатами сучасних геотехнічних фізико-хімічних, геофізичних, мікроскопічних та інших досліджень є вилугування цементувальних карбонатних сполук із лесових і лесово-суглинистих порід, гідратація глинистих мінералів з їхнім переважним перетворенням на нестійкі колоїдні

форми. Практично це призводить, як свідчить щораз більше утворення зсувів-потоків на схилових територіях лесово-породних масивів більшості ПМА України (м. Дніпро, Кам'янське, Чернівці, Куп'янськ, Київ, Херсон та ін.), до геомеханічної деградації порід піщано-глинистого складу й формування ділянок їхнього тиксотропного (пливуноподібного) стану.

За окремими оцінками під час гідромеліоративних зйомок у Дніпропетровській області було встановлено, що величина статичного напруження зрушення (СНЗ) перезволожених лесів у пливуніподібному стані сягає $\sigma_{\text{СНЗ}} = [100-150 \text{ мг/см}^2]$. Таким чином, критична стрімкість схилу $\alpha_{\text{кр}}$ для цих умов техногенних змін геомеханічних показників лесів орієнтовно становитиме

$$\alpha_{\text{кр}}^{\circ} = \arctg \frac{\sigma_{\text{СНЗ}}}{\rho \cdot \Delta h}$$

$$\alpha_{\text{кр}}^{\circ} = \arctg \frac{(0,1 - 0,15 \text{ г/см}^2)}{(1,8 \text{ г/см}^3) \cdot 1 \text{ см}} \approx 5^{\circ} - 7^{\circ},$$

де ρ – середня щільність водонасичених лесово-суглинчастих порід, $\rho \approx 1,8 \text{ г/см}^3$.

Вищенаведені розрахунки повністю збігаються з фактичними даними щодо щораз більшої кількості випадків сучасного зсувоутворення в межах ПМА на схилах зі стрімкістю $5^{\circ} - 7^{\circ}$, а також суфозійних осідань поверхні біля будівель, місць скупчення транспорту, каналізаційних колодязів, де має місце інтенсивна техногенна інфільтрація та активні динамічні зміни напружено-деформованого стану порід підґрунтя будівель і верхньої зони ГС міст і селищ загалом (підвищення порового тиску, порушення рівноваги геомеханічного та фізико-хімічного стану) [8, 9, 12].

До додаткового впливу глобальних змін клімату (ГЗК) на ускладнення інженерно-геологічного стану лесів і ЛСП можна зарахувати підняття рівня моря та збільшення енергії хвиль, що призводить до підвищення зони зволоження підніжжя схилів і зменшення їхньої критичної висоти Нкр. За відомою залежністю проф. М. А. Цитовича, критична ви-

сота вертикального схилу Нкр, складеного ґрунтами із залишковим зчепленням $C = 0,2 \text{ кг/см}^2$ та об'ємною густиною $\gamma_w = 1,4 \text{ г/см}^3$, становить

$$H_{\text{кр}} = 2C/\gamma_w = 2 \cdot 0,2/0,0014 = 280 \text{ см} \approx 3,0 \text{ м}.$$

Із вищенаведених розрахунків випливає, що сучасний комплексний вплив ГЗК (потепління, збільшення зволоження та засолення верхньої зони лесовопородного масиву прибережно-морських територій) спричинює зростання зсувонебезпечних територій та інженерно-сейсмогеологічної вразливості ПМА в їхніх межах.

Дослідження дали змогу з'ясувати, на наш погляд, принципово новий додатковий чинник техногенних змін інженерно-геологічних умов на регіональному й об'єктово-територіальному рівнях, зумовлений закономірним зв'язком між напрямком впливу повздовжньої сейсмичності та загрозою активізації зсувного схилу [2, 4, 6, 11].

У загальному плані зсуви – зміщення порід на схилах під впливом гравітації в різноманітних формах, об'ємах, з різноманітними швидкостями і на різні відстані (визначення проф. В. Д. Ломтадзе). Дослідження провідних чинників зсувних процесів (проф. М. Г. Демчишин, проф. А. І. Білеуш, проф. М. М. Маслов, проф. Г. М. Шахунянц та ін.). Моделювання в ІТГП НАНУ з використанням геоінформаційних технологій (ГІС) і дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) засвідчують, що на сучасному етапі прояви зсувних процесів локалізуються на схилових формах певної геологічної будови, гідрогеологічних і сейсмогеофізичних умов тощо.

Водночас аналіз “Карти загального сейсмічного районування (ЗСР, 2004) України” (Інститут геофізики НАН України, відп. редактори д-р фіз.-мат. наук Б. Г. Пустовітенко, проф. В. І. Уломов) показав, що інтенсивність сейсмічних струшувань під час землетрусів із забезпеченістю 5 % (5 подій за 100 років) упродовж 50-ти років змінюється від 6 до 10 балів для максимальних значень пришвидшення $0,05 \div 1,0 \text{ г}$ (табл. 7).

Таблиця 7. Оцінка еквівалентного зростання стрімкості зсувного схилу в разі зустрічного впливу повздовжньої сейсмічної хвилі

Назва адміністративної одиниці	Розвиток зсувів на 2015 р.		Максимальний сейсмічний вплив (шкала MSK-64)		
	Кількість	Щільн. зсувів, 10^3 км^2	Сейсмічність, бали	Горизонт. пришвидшення, g	Додат. стрімк. а, град.
Автономна Республіка Крим	1582	58,59	10	1	45
Вінницька	339	12,79	7	0,1	5
Волинська	0	0	7	0,1	5
Дніпропетровська	382	11,97	7	0,1	5
Донецька	189	7,13	7	0,1	5
Житомирська	10	0,33	6	0,05	3
Закарпатська	3251	253,98	8	0,25	14
Запорізька	206	7,57	7	0,1	5
Івано-Франківська	790	56,83	8	0,25	14
Київська	814	28,17	6	0,05	3
Кіровоградська	122	4,96	7	0,1	5
Луганська	982	36,78	6	0,05	3
Львівська	1347	61,79	8	0,25	14
Миколаївська	1149	46,71	7	0,1	5
Одеська	5868	176,22	9	0,5	26
Полтавська	824	28,61	6	0,05	3
Рівненська	0	0	7	0,1	5
Сумська	567	23,82	6	0,05	3
Тернопільська	117	8,48	7	0,1	5
Харківська	1615	51,43	6	0,05	3
Херсонська	40	1,40	7	0,1	5
Хмельницька	419	20,34	7	0,1	5
Черкаська	1027	49,14	7	0,1	5
Чернівецька	1467	181,11	7	0,1	5
Чернігівська	9	0,28	6	0,05	3
Усього по Україні	23116	38,29			

Параметри ДБН В.1.1-2006 і доповнення до них дають змогу дійти висновку, що під час землетрусів із силою 7, 8, 9 балів для важливих об'єктів можна підвищувати значення пришвидшення удвічі – до 0,2; 0,4; 0,8 g відповідно.

Отже, у разі зустрічної орієнтації зсуву стосовно фронту сейсмохвилі еквівалентне збільшення стрімкості схилу $\alpha_{\text{дон}}$ може бути оцінено за орієнтовною залежністю

$$\alpha_{\text{дон}} = \arctg(\Delta g).$$

Результати вищенаведених розрахунків засвідчують, що особливої активності впливу сумісної дії зсувних процесів і сейсмохвиль на регіональні інженерно-геологічні умови в останні десятиріччя зазнали Карпатський регіон, узбережжя Чорного й Азовського морів, Дніпровського, Дністрівського, Тилігульського, Бузького й Бережанського лиманів, правобережжя Дніпра і його правих приток, Автономна Республіка Крим, а також території Одеської, Закарпатської, Чернівецької, Івано-Франківської та Львівської областей [1, 4, 7, 9–11].

Висновки

1. Аналіз сучасного формування інженерно-геологічних умов регіонів України дає змогу дійти висновку, що вплив природних і техногенних чинників призводить до комплексних змін стану, складу й властивостей геологічного середовища та техногенно-геологічних систем (ТГС) “техногенний об'єкт – геологічне середовище”.

2. В останні десятиріччя відбувається стійке збільшення впливу на інженерно-геологічні параметри ГС глобальних змін клімату й зростання сейсмічної активності. У цих умовах структурно-геологічний план територій, рельєф, літологічний склад і геотехнічні властивості верхньої зони ГС разом з гідрогеофільтраційною системою є генерувальними структурними компонентами динаміки інженерно-геологічних умов, на зміни стану яких потрібно зважати під час геотехнічних вишукувань, будівництва та експлуатації інженерних споруд.

3. З'ясовані нові просторово-часові чинники формування інженерно-геологічних умов більшості регіонів України в природних і техногенних умовах свідчать про потребу вдосконалення складу їхнього вивчення в таких напрямках:

– наукове обґрунтування гранично-припустимих змін інженерно-геологічних параметрів на регіональному рівні й у складі техногенно-геологічних систем різного рівня;

– розвиток структури моніторингу інженерно-геологічних параметрів ГС, зокрема просторово-часової динаміки НЕГП на основі технологій ГІС, ДЗЗ, математичного моделювання, проведення державного інженерно-геологічного та інженерно-сейсмогеологічного картування регіонів і ПМА України (масштаби 1:200 000 та 1:50 000) зі складанням карт нового покоління;

– розроблення методики оцінки інженерно-геологічних загроз у зонах впливу затоплення шахт і кар'єрів розвинених гірничодобувних районів (етап постмаїнінгу) з огляду на розвиток незворотних небезпечних змін геологічного середовища в межах їхніх ПМА.

ЛІТЕРАТУРА

1. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2006. Офіц. Вид. – Київ: Укрархбудінформ, 2006. – 83 с.
2. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду. – Москва: Наука, 1986. – 367 с.
3. Демчишин М. Г. Прогноз и предупреждение оползневых явлений на территории Украины. – Киев: Ин-т геол. наук, 1982. – 53 с.

4. Довгий С. О., Коржнев М. М., Курило М. М. та ін. Екологічні ризики, збитки та раціональні межі використання надр в Україні. – Київ: Ніка-Центр, 2012. – 316 с.

5. Криль Т. В. Техногенні динамічні впливи на геологічне середовище міста. – Київ: Наукова думка, 2015. – 160 с.

6. Рогожин О. Г., Яковлев Є. О. Оцінка додаткового сейсмічного ризику руйнування споруд на підтоплених лесах та лесово-суглинистих породах України//Екологічна безпека та природокористування. – Вип. 31. – С. 11–22.

7. Рудько Г. І., Яковлев Є. О., Рагозин О. Л. Моніторинг процесів небезпечних територій та розрахунок ризику техноприродних аварій і катастроф. – Київ: Знання, 1997. – 80 с.

8. Рудько Г. І., Осиук В. А. Инженерная геодинамика Украины и Молдовы (оползневые геосистемы). У 2-х томах. – Киев-Черновцы: “Букрек”, 2012. – 1330 с.

9. Садовенко І. О., Фоцій Н. В., Рудько Г. І. та ін. Сучасний техногенез та інженерне освоєння лесових масивів. – Київ-Чернівці: Видавничий дім “Букрек”, 2019. – 272 с.

10. Трофимов В. Т., Корольов В. А. Инженерная геология массивов лёссовых пород. – Москва: Изд. МГУ, 2004. – 140 с.

11. Трофимчук А. Н., Глебчук А. С., Полеveckий В. В. Об устойчивости склонов при изменении сейсмических условий//Будів. конструкції. – 2008. – Вип. 69. – С. 304–311.

12. Яковлев Є. О. Аналіз впливу сучасного стану водопровідно-каналізаційних і теплоенергетичних мереж міст і селищ України на їх інженерно-геологічну, геотехнічну та соціально-економічну безпеку//Світ геотехніки. – 2007. – № 1. – С. 4–12.

REFERENCES

1. Construction in seismic regions of Ukraine: DBN B.1.1-12: 2006. Offic. ed. – Kyiv, Ukrarkhbuildinform, 2006. – 83 p. (In Ukrainian).
2. Water reservoirs and their impact on the environment. – Moskva: Nauka, 1986. – 367 p. (In Russian).
3. Demchishin M. G. Forecast and prevention of landslides on the territory of Ukraine. – Kyiv: In-t geol. nauk, 1982. – 53 p. (In Russian).
4. Dovhyi S. O., Korzhniev M. M., Kurylo M. M. et al. Environmental risks, losses and rational limits of subsoil use in Ukraine. – Kyiv: Nika-Tsentr, 2012. – 316 p. (In Ukrainian).
5. Kryl T. V. Technogenic dynamic influences on the geological environment of the city. – Kyiv: Naukova dumka, 2015. – 160 p. (In Ukrainian).
6. Rohozhyn O. H., Yakovlev Ye. O. Assessment of additional seismic risk of structure destruction on submerged loess and loamy rocks of Ukraine//Ekologichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia. – 2019. – Iss. 31. – P. 11–22. (In Ukrainian).
7. Rudko G. I., Yakovlev Ye. O., Rahozin O. L. Monitoring of Process-Safe Territories and Calculation of Risk of Techno-Natural Accidents and Catastrophes. – Kyiv: Znannia, 1997. – 80 p. (In Ukrainian).
8. Rudko G. I., Osiuk V. A. Engineering Geodynamics of Ukraine and Moldova (Landslide Geosystems). In 2 volumes. – Kiev-Chernovcy: Bukrek, 2012. – 1330. (In Russian).
9. Sadovenko I. O., Foshchii N. V., Rudko G. I. et al. Modern technogenesis and engineering development of loess rock massives. – Kyiv-Chernivtsi: Bukrek, 2019. – 272 p. (In Ukrainian).
10. Trofimov V. T., Korolyov V. A. Engineering geology of loess rock massifs. – Moskva: MGU, 2004. – 140 p. (In Russian).
11. Trofimchuk A. N., Glebchuk A. S., Poleveckij V. V. On the stability of slopes under changing seismic conditions//Budivelni konstruktzii. – 2008. – Iss. 69. – P. 304–311. (In Russian).
12. Yakovlev E. A. Analysis of the influence of the current state of water supply and sewerage and heat power networks of cities and towns of Ukraine on their engineering-geological, geotechnical and socio-economic security//Svit heotekhniki. – 2007. – № 1. – P. 4–12. (In Ukrainian).

Рукопис отримано 19.11.2019.

УДК 551.71/72 (477)

 <https://doi.org/10.31996/mru.2020.1.27-33>

В. П. КИРИЛЮК, д-р геол.-мінерал. наук, член докембрійської секції НСК України, член МТК України, професор Львівського національного університету імені Івана Франка, Kyrylyuk.V@i.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7649-9432>

V. KYRYLYUK, Dr. Geol.-Mineral. Science, professor of the Ivan Franko National University of Lviv, Kyrylyuk.V@i.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7649-9432>

ЩЕ РАЗ ПРО СТРАТИГРАФІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА РЕГІОНАЛЬНУ СТРАТИГРАФІЧНУ СХЕМУ НИЖНЬОГО ДОКЕМБРІЮ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Стаття 2. КОРЕЛЯЦІЯ КОМПЛЕКСІВ УКРАЇНСЬКОГО ТА ІНШИХ ЩИТІВ ПІВНІЧНОЇ ЄВРАЗІЇ

REVISITING STRATIGRAPHIC COMPLEXES AND REGIONAL STRATIGRAPHIC SCHEME OF THE LOWER PRECAMBRIAN OF THE UKRAINIAN SHIELD

Article 2. CORRELATION OF COMPLEXES OF UKRAINIAN AND OTHER SHIELDS OF NORTH EURASIA

У другій статті циклу показано, що на щитах Східноєвропейської та Сибірської платформ відомі п'ять головних типів стратигенних метаморфічних комплексів: 1) грануліто-гнейсові, 2) амфіболіто-гнейсові, 3) зеленокам'яні (метавулканогенні), 4) залізисто-кременисто-сланцеві (метавулканогенно-хемогенно-теригенні), 5) гнейсо-сланцеві (метакарбонатно-теригенні). Типи комплексів, крім того, що вони розрізняються за ступенем і типом метаморфізму, мають також різний геолого-формаційний склад. Це свідчить про їхню різну вихідну “до-метаморфічну” природу. Усі відомі стратиграфічні підрозділи нижнього докембрію як Українського щита (УЩ), так і інших належать до одного з типів стратигенних метаморфічних комплексів. Ці комплекси відіграють роль найбільших регіональних стратиграфічних підрозділів в усіх регіонах поширення нижнього докембрію. Вони з різною повнотою представлені на Алдано-Становому, Анабарському і Балтійському щитах та на Воронежському кристалічному масиві. Найповніше стратигенні метаморфічні комплекси розвинуті на Українському та Алдано-Становому щитах. Комплекси різних регіонів прокорельовані між собою та з комплексами УЩ на підставі їхньої відповідності типам стратигенних метаморфічних комплексів. Подібність комплексів різних регіонів, на думку багатьох дослідників, свідчить не тільки про близькі умови формування однотипних комплексів, але і їхню найімовірнішу відповідність однаковим, квазісинхронним етапам розвитку ранньої земної кори. За підсумками обох статей циклу зроблено висновки про те, що найбільші підрозділи чинної хроностратиграфічної схеми раннього докембрію УЩ, які показано в ній як “серії”, заслуговують або на переведення їх у ранг “стратиграфічних комплексів”, або на зарахування до комплексів через об'єднання серій. Об'єднання серій стосується грануліто-гнейсових комплексів, яким в оновленій стратиграфічній схемі потрібно надати нові назви. Для інших комплексів, задля спадкоємності з попередніми схемами, доцільно зберегти географічні назви серій.

Ключові слова: Український щит, щити давніх платформ, нижній докембрій, стратигенні метаморфічні комплекси, регіональна стратиграфічна схема, стратиграфічні комплекси.

The second article discusses the 5 main types of stratogenic metamorphic complexes found in the East-European and Siberian platforms: 1) granulite-gneissic; 2) amphibolite-gneissic; 3) greenstone; 4) ferruginous-siliceous-schistose (metavolcano-chemo-terrigenic) 5) gneiss-schistose (metacarbonaceous-terrigenic). The types of complexes, in addition to the fact that they differ in the degree and type of metamorphism, also have different geologic-formational composition. These complexes are seen as the largest regional stratigraphic subdivisions in all regions of the Early Precambrian. They are represented with varying degrees of completeness on the Aldan-Stanovian, Anabarian and Baltic shields and on the Voronezh crystalline massif. The most complete stratogenic metamorphic complexes are developed on the Ukrainian and Aldan-Stanovian Shields. The complexes of the various regions are mutually correlated between themselves and the Ukrainian Shield based on them corresponding to the types of stratogenic metamorphic complexes. The similarities between the complexes across different regions are to most researchers evidence not only of similar conditions of the formation of same-type complexes, but also, most likely, their conformance to identical quasi-synchronous stages in the development of the Earth's core. Based on the results of both articles of the cycle, it is concluded that the largest divisions of the current Chronostratigraphic Scheme of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield, which are shown in it as “series”, deserve either the transfer to the rank of “stratigraphic complexes” or the inclusion in the complexes by uniting series. Combining of the series concern to granulite-gneiss complexes that need to be renamed in the updated stratigraphic scheme. For other complexes, for the sake of inheritance with the previous schemes, it is advisable to preserve the geographical names of the series.

Keywords: Ukrainian shield, shields of ancient platforms, Lower Precambrian, regional stratigraphic scheme, stratogenic metamorphic complex, stratigraphic complex.

Передмова. У попередній статті показано, що введення рангу “комплекс” у регіональну стратиграфічну схему нижнього докембрію УЩ і повна або часткова відповідність цьому таксону серій “Кореляційної хроностратиграфічної схеми раннього докембрію Українського щита” (КХС УЩ) [13] зумовлена не лише вимогами “Стратиграфічного кодексу України” (СКУ) [36]. Така можливість стала наслідком сучасного рівня вивченості серій КХС УЩ, переведення яких

у ранг комплексів приведе до поглиблення змістовного навантаження стратиграфічної схеми та її зв'язку з тектонікою й історією геологічного розвитку регіону.

Згідно з вимогами СКУ, регіональні стратиграфічні схеми та пояснювальні записки до них мають містити стратиграфічні схеми суміжних територій “з метою просторово-часової кореляції відповідних стратонів досліджуваної території” [36, с. 42]. Через це видається доцільним стисло розглянути історію та стан виділення стратиграфічних комплексів на інших щитах Східноєвропейської та Сибірської платформ

як додаткове обґрунтування об'єктивного існування цих підрозділів у стратиграфії нижнього докембрію. Але попередньо варто звернути увагу на одну важливу загальну особливість досліджень докембрію, яка лежала в основі виділення комплексів і взагалі стратиграфії нижнього докембрію.

Якщо повернутися до витоків стратиграфічного розчленування нижнього докембрію будь-якого регіону, то можна побачити, що воно починалося з відокремлення асоціацій метаморфічних порід, або в сучасному розумінні *метаморфічних комплексів*, які розрізняли за ступенем метаморфізму. Спочатку це був поділ на основі відносного порівняння ступеня метаморфізму цих асоціацій – високометаморфізовані та слабо чи слабше метаморфізовані. З розвитком і поширенням уявлень про мінеральні та метаморфічні фації розпочалося виділення метаморфічних комплексів за їхньою фаціальною належністю. Згодом, після встановлення первинної стратигенної осадово-вулканічної природи метаморфічних комплексів, їх почали розглядати як *місцеві стратиграфічні підрозділи* з дальшим визначенням їхньої відносної вікової послідовності структурно-стратиграфічними методами.

Важливу роль у справі розчленування докембрійських метаморфічних утворень, зокрема й стратиграфічного розчленування, відіграло відкриття існування в природі *монофаціальних і поліфаціальних* метаморфічних комплексів. У підсумку в різних регіонах на підставі даних про відносну послідовність найбільших стратиграфічних підрозділів розроблено регіональні стратиграфічні схеми й розпочато їхню подальшу деталізацію. Водночас дуже поширилися уявлення про зв'язок ступеня метаморфізму з відносним віком метаморфічних комплексів за принципом: “чим вищий ступінь метаморфізму комплексів, тим вони древніші”.

Із початком використання ізотопних методів визначення віку порід і мінералів з'ясувалося, що принаймні на породному рівні цей принцип не універсальний. Було виявлено відносно слабо метаморфізовані комплекси, ізотопний вік порід і мінералів яких набагато перевищував ізотопний вік порід і мінералів з високотемпературних метаморфічних комплексів. На цій підставі, без жодних спроб усвідомити розбіжності між даними *про відносний вік стратигенних метаморфічних комплексів* та “абсолютний вік” отриманий з їхніх порід і мінералів, принцип визначення відносного віку за ступенем метаморфізму був майже повністю дезавуований і в різних регіонах розпочалася кампанія перегляду стратиграфічного віку виділених підрозділів і стратиграфічних схем на підставі ізотопних визначень. Водночас підхід до відокремлення найбільших за рангом регіональних стратиграфічних підрозділів за метаморфічними критеріями загалом зберігся. Але на ступінь метаморфізму, як і взагалі на метаморфічний чинник у формуванні ізотопного віку порід і мінералів, зокрема на уявлення про можливу тривалість метаморфізму, майже перестали зважати під час інтерпретації отриманих визначень для цілей стратиграфії.

Залишаючи осторонь тему зв'язку стратиграфії й метаморфізму в ранньому докембрії, яка може бути предметом спеціального обговорення, зазначимо, що узагальнення сучасних даних стосовно метаморфічних комплексів різних щитів Східноєвропейської та Сибірської платформ, безвідносно до їхнього стратиграфічного віку, дало змогу виявити серед них п'ять головних типів *стратигенних метаморфічних комплексів* (скорочено *стратометаморфічних комплексів*). Ці комплекси, крім того, що розрізняються за

ступенем і типом метаморфізму, мають різний геолого-формаційний склад, що свідчить про їхню різну вихідну “дометаморфічну” природу. Такими головними типами стратометаморфічних комплексів щитів є: 1) *грануліто-гнейсовий*; 2) *амфіболіто-гнейсовий*; 3) *зеленокам'яний (метавулканогенний)*; 4) *залізисто-кременисто-сланцевий (метавулканогенно-хемогенно-теригенний)*; 5) *гнейсо-сланцевий (метакарбонатно-теригенний)* [10–12]. Перші два з типів належать до монофаціальних комплексів, інші – до зональних, поліфаціальних комплексів. На всіх щитах дуже поширені грануліто-гнейсові комплекси, діафторовані в умовах амфіболітової фації. Усі відомі стратиграфічні підрозділи нижнього докембрію як Українського, так і інших щитів належать до одного із цих типів стратометаморфічних комплексів.

Стратиграфічні комплекси щитів Північної Євразії. Названі типи стратометаморфічних комплексів з різною повнотою представлені на всіх щитах Східноєвропейської та Сибірської платформ. Найповніше вони представлені на Українському та Алдано-Становому щитах, тому з останнього й доцільно розпочати їхній розгляд.

Алдано-Становий щит. Алдано-Становий щит – це регіон, в якому найпослідовніше відбувалося виділення вікових комплексів і їхніх складників – *стратиграфічних комплексів*, які відповідають основним етапам геологічного розвитку. На Алдано-Становому щиті відомі представники всіх названих типів стратигенних метаморфічних комплексів. Саме в цьому регіоні ще в 30-х роках ХХ сторіччя Д. С. Коржинський у межах Алданської плити (за теперішньою термінологією – північна частина Алдано-Станового щита) виділив *алданський комплекс*, який є чи не найпершим уведеним в обіг стратиграфічним підрозділом з назвою “комплекс”, який до того ж ще й зберіг свою назву до наших днів. За визначенням Д. С. Коржинського, “алданський комплекс (архей) складен виключительно кристаллическими породами... Эти древнейшие породы образовались в течение одного геологического цикла и составляют единый геологический комплекс пород, который мы будем называть алданским” [14]. У складі алданського комплексу Д. С. Коржинський виокремив три серії (знизу догори): а) *ієнгурську*, б) серію гіперстеневих гнейсів, пізніше перейменовану на *тимптонську серію*, в) *джелтулінську*. Ці серії збереглися і в сучасних стратиграфічних схемах.

Поряд з алданським комплексом Д. С. Коржинський на території Станового хребта виділив “древнестановой” комплекс порід (протерозой)” [14, с. 350]. “Метаморфические породы древнестанового комплекса в значительной степени являются средне- и низкотемпературными (мусковитовые гнейсы, филлиты), в то время как архейские породы почти без исключения высокотемпературны” [14, с. 355].

У 50-х роках ХХ сторіччя науковці ВСЕГЕІ та Лабораторії геології докембрію АН СРСР (ЛАГЕД, Ленінград) у зоні Станового хребта обґрунтували існування поряд з алданським комплексом *станового комплексу* та молодших утворень і зробили висновок про формування “в докембрии четырех разновозрастных комплексов пород, включающих осадочные или вулканогенно-осадочные серии и магматические породы. Эти комплексы следующие: алданский (нижний архей), становой (верхний архей) и янкано-желтулакский (нижний протерозой). К нижнему протерозою следует, вероятно, отнести и чульманский комплекс, состоящий самостоятельную структурно-фаціальную зону” [18, с. 265]. Алданський і становий комплекси чітко розрізнялися за ступенем метаморфізму

й породним складом і за наведеною вище типізацією стратометаморфічних комплексів належать до грануліто-гнейсового та амфіболіто-гнейсового типів. Янкано-джелтулакський і чультманський комплекси мають обмежене поширення в невеликих прирозломних структурах, складені осадово-вулканічними товщами, метаморфізованими в умовах епідот-амфіболітової та амфіболітової фазій.

Відокремлені виходи (блоки) аналогів алданського комплексу в межах Станової зони виділяли в місцевих стратиграфічних схемах як окремі серії (кабатинська, могочинська та ін.) або навіть як окремі комплекси (курультино-гонамський, зверівський тощо) [5, 43 та ін.]. У складі станового комплексу спочатку було виділено дві серії – станову та урканську як стратиграфічні аналоги у зовнішньому й внутрішньому поясах Станової зони [13], а пізніше – “в пределах каждого из крупных прогибов выделены отдельные серии: иликанская, купуринская, удско-майская, которые рассматриваются как разновозрастные отложения разных структурных зон” [5, с. 42].

Водночас у межах “Чарской глыбы”, яка раніше належала до Байкальської складчастої системи, а тепер є частиною Алдано-Станового щита, виділено удоканську серію¹, розчленовану на 11 світ [33, 35]. Пізніше серію поділено на три серії – кодарську, чинейську й кеменську та переведено в ранг “надсерії” [34] або *удоканського комплексу* [3]. За особливостями свого складу й метаморфізму удоканський комплекс належить до гнейсо-сланцевих (метакарбонатно-теригенних) комплексів, зонально метаморфізованих у діапазоні від зеленосланцевої до амфіболітової фазій.

З початком виділення на різних щитах світу граніт-зеленокам'яних областей до таких структурних елементів було зараховано Ольокмінську складчасту область Алдано-Станового щита. Поширений у її межах *олондинський комплекс* Г. М. Другова зі співавторами визнала таким, що “имеет большое сходство с типичными зеленокаменными поясами... что заставляет исключить олондинский комплекс из числа первично метаморфизованных в протерозое образований Олекминской зоны” [13, с. 49]. Фундамент зеленокам'яних поясів, як і в інших граніт-зеленокам'яних областях, представлений грануліто-гнейсовим *курультинським* та амфіболіто-гнейсовим *ольокмінським* комплексами [2, 7]. Курультинський комплекс вважають аналогом алданського комплексу, а ольокмінський комплекс – аналогом станового, з яким його навіть об'єднували деякі дослідники в один *ольокмо-становий комплекс* [29].

У північно-східній частині Алдано-Станового щита розміщена ще одна – Батомгська граніт-зеленокам'яна область [6, 23]. У межах цієї території ще до того, як її стали вважати граніт-зеленокам'яною областю, “были выделены три разновозрастных раннедокембрийских комплекса: омнинский, батомгский и чумиканский” [17]. Пізнішими дослідженнями цієї території, уже як типової граніт-зеленокам'яної області, було підтверджене існування в її межах *омінського* (грануліто-гнейсового) *комплексу*, *батомгського* (амфіболіто-гнейсового) *комплексу* і *чуміканського комплексу*, який вважають подібним до зеленокам'яних комплексів [7, 23]. Дослідники обох граніт-зеленокам'яних областей однаково корелюють комплекси Батомгської області з відповідними комплексами Ольокмінської області – курультинським, ольокмінським та олондинським [7, 23].

В обох граніт-зеленокам'яних областях Алдано-Станового щита є проблеми з відокремленням від зеленокам'яних ком-

плексів надзеленокам'яних підрозділів, які в різних локальних структурах Ольокмінської області виділяють як тунгурчинську, тасмієлінську та інші серії. Як стратиграфічний аналог удоканського комплексу в зоні розвитку зеленокам'яних структур А. Ф. Петров виділив угуйську серію [22], яку згодом теж перевів у ранг *угуйського комплексу* з поділом його на сеймдинську та кебектинську серії [23]. Аналогом угуйського комплексу в Батомгській граніт-зеленокам'яній області автор вважає *маймаканський комплекс* [23].

Як бачимо, на території Алдано-Станового щита високометаморфізовані породні асоціації, які переважають на його території, від самого початку виділяли як комплекси. Що ж до слабше метаморфізованих і менш поширених асоціацій, в яких збереглися ознаки первинних вулканічно-осадових утворень, то їх спочатку виділяли як стратиграфічні “серії”. Але з поглибленням знань про їхню будову та роль у геологічній історії всіх їх було переведено в ранг “комплекс”, хоч іноді й нині їх ще називають серіями.

Як багаторічне використання комплексів на території Алдано-Станового щита під час геологічного картування окремих територій, так і їхнє зіставлення та простежування на площі в процесі підготовки до видання Державних геологічних карт масштабу 1:1 000 000 дало підстави застосовувати їх як *регіональні стратиграфічні й відповідні геохронологічні (історико-геологічні) підрозділи*. Уперше таку пропозицію висловлено на робочій нараді “Стратиграфия нижнего докембрия Дальнего Востока” (м. Хабаровськ, 12–14 квітня 1988 р.), у якій брав участь і автор цієї статті. У рішенні наради, зокрема, зазначено: “Совещание считает, что главными стратиграфическими подразделениями предлагаемой схемы (нижнего докембрия. – В. К.) являются следующие: а) нижний архей, в составе глубокометаморфизованных (гранулитовая и амфиболитовая фации) комплексов: зверевско-чогарского, иенгрского, тимптоно-джелтулинского и олекмо-станового; б) верхний архей, в составе зонально метаморфизованных и зеленокаменных серий... типа олондинской и ее аналогов” [30, с. 146]. Водночас зауважено, що “некоторые авторы выступают в пользу выделения станового комплекса в качестве третьего уровня, который предполагается обозначить как средний архей” [13, с. 146].

Цей підхід остаточно закріплено понад 20 років тому на регіональній стратиграфічній нараді Далекого Сходу й Східного Забайкалля [31], рішення якої стали обов'язковими й до цього часу актуальні під час складання геологічних карт, зокрема на них ґрунтується чинна легенда Алдано-Забайкальської серії [1]. У пояснювальній записці до неї, зокрема, зазначено: “в соответствии с решением Межведомственного стратиграфического комитета и Дальневосточной региональной стратиграфической комиссии для территории Дальнего Востока и Восточного Забайкалья (Решение четвертого..., 1994) архейский акрон подразделен на эоны – раннеархейский и позднеархейский. Приняты рекомендованные тем же совещанием *региональные подразделения архея: алданий* – для раннего архея, *становий* и *сахаборий*² – для позднего” [1, с. 30]. Для позначення комплексів нижнього протерозою на сучасних картах регіону використовують назву “карелій” (скорочена назва “карельської еонотеми”), яка в “Общей стратиграфической схеме нижнего докембрия России” [20] є синонімом нижнього протерозою.

¹ Уперше виділив як нерозчленовану “удоканську світ” Є. В. Павловський [21].

² Термін “сахаборий” походить від слова “Саха” – національної назви Якутії. Його запропонував С. В. Нужнов зі співавторами [19] за підтримки В. І. Шульдинера [42].

Цю назву затверджено Постановою МСК Росії [25] й закріплено в “Стратиграфическом кодексе России” [37].

Належність до відповідних регіональних геохронологічних підрозділів визначають за особливостями складу та ступенем метаморфізму відповідних комплексів, а не на підставі ізотопних визначень, які зазвичай набагато молодші за їхній прийнятий стратиграфічний вік. Більшість дослідників цього регіону дотримується тієї позиції, що “редкость выявления в гранулитогнейсовых комплексах изотопных датировок, превышающих 3200 млн лет, не является бесспорным основанием для пересмотра давно сложившихся представлений о принадлежности этих комплексов к древнейшим образованиям” [20, с. 6].

Анабарський щит. У стратиграфічному сенсі на території Анабарського щита поширений один *анабарський* комплекс [32]. Він належить до типових монофаціальних грануліто-гнейсових комплексів. Комплекс уперше поділено на далдинську, верхньоанабарську й хапчанську серії ще в 50-х роках ХХ сторіччя [26, 27], і цей поділ з його подальшим розчленуванням на світи зберігся до наших днів. Як окрему стратиграфічну одиницю спочатку виділено й верхньоламуйську серію. Але згодом її переведено в самостійний верхньоламуйський поліметаморфічний комплекс [4], сформований унаслідок діафорезу анабарського грануліто-гнейсового комплексу в умовах амфіболітової фації.

Східна частина Балтійського щита. Східна частина Балтійського щита вже давно відіграє роль стратотипового регіону нижнього докембрію Північної Євразії. Ще в “Стратиграфической шкале докембрия СССР” 1977 року [24] як типові стратиграфічні підрозділи визначено біломорський, лопський і карельський комплекси. У чинній стратиграфічній схемі нижнього докембрію цього регіону³ категорію “комплекс” виділено окремою графою як найвищий підрозділ регіональної схеми, що за рангом відповідає еонотемі загальної шкали докембрію. Ідеться про *саамський, лопийський і карельський комплекси*.

Саамський комплекс (або *саамій*) об’єднує грануліто-гнейсові та амфіболіто-гнейсові асоціації регіону: а) кольську серію (формацію, світу) [38, с. 146], яка належить до типових грануліто-гнейсових комплексів; б) біломорську серію (формацію, комплекс, світу) [38, с. 42], яка є діафорованим в умовах амфіболітової фації грануліто-гнейсовим комплексом; в) високоградні метаморфічні асоціації фундаменту Карельської граніт-зеленокам’яної області, серед яких наявні як грануліто-гнейсові, так і амфіболіто-гнейсові комплекси. Кольську й біломорську серії (комплекси) іноді об’єднують в один кольсько-біломорський (грануліто-гнейсовий) комплекс [28, с. 11]. Нерозчленованість саамського комплексу на території Карельської граніт-зеленокам’яної області на грануліто-гнейсовий і амфіболіто-гнейсовий комплекси, як донедавна й акульської серії Середньопридніпровської граніт-зеленокам’яної області, зумовлена їхніми узгодженими структурно-метаморфічними співвідношеннями, що виникли внаслідок тривалого спільного ендегенного розвитку.

Лопийський комплекс (*лопій*) охоплює типові утворення, які відповідають глобальному “зеленокам’яному етапу” розвитку земної кори. У межах Карельської граніт-зеленокам’яної області на підставі ізотопно-геохронологічних даних виокремлено декілька територіально роз’єднаних різновікових

груп зеленокам’яних поясів. В “Общей стратиграфической шкале нижнего докембрия России” [20] їх визначено як три самостійні підрозділи (нижній, середній, верхній лопій) у ранзі ератем [20]. Розрізи ізольованих поясів виділяють під власними назвами гімольської, контоцької, парандовської, хаутоварської та інших серій у складі *лопийського комплексу* [39].

Карельський комплекс (*карелій*) об’єднує всі надзеленокам’яні метаморфізовані осадові й осадово-вулканічні товщі Карело-Кольського регіону. Його територіально відокремлені розрізи різних структур, подібно до лопія, теж виділяють як окремі серії (великозерська, тунгудсько-надвоїцька, суйсарська тощо). Серії корелюються між собою на рівні загально-регіональних літолого-стратиграфічних горизонтів (сумійський, саріолійський, ятулійський та інші), назви яких відповідають стратотиповим розрізам відповідних горизонтів.

Якщо порівнювати карелій з наведеними вище типами стратометаморфічних комплексів, то в ньому як у регіональному стратиграфічному підрозділі представлені два типи: а) метавулканогенно-хемогенно-теригенний, поширений на території Карельської граніт-зеленокам’яної області та Кольського блока, який тяжіє до зеленокам’яних структур і метаморфізований в умовах зеленосланцевої та епідот-амфіболітової фацій; б) метакарбонатно-теригенний (гнейсо-сланцевий), поширений у Ладозькому блоці, метаморфізований у діапазоні від епідот-амфіболітової до гранулітової фацій і представлений двома серіями – сортавальською та ладозькою [39].

Регіональні підрозділи нижнього докембрію східної частини Балтійського щита взято за основу “Общей стратиграфической шкалы нижнего докембрия России” [20]. Стосовно цього в її стислій характеристиці зазначено, що “общее состояние современных знаний достаточно для обоснованного прослеживания на всю территорию России только типовых структурно-вещественных комплексов Карело-Кольской стратотипической провинции: саамского (нижнего архея), лопийского (верхнего архея) и карельского (нижнего протерозоя) [16, с. 9]. Крім того, до *саамію* належать утворення, “составляющие кристаллический (амфиболито-плагиигранито-гнейсовый) фундамент (первый структурно-тектонический этаж) Балтийского щита Восточно-Европейской платформы (ВЕП)” [16, с. 10]. Щодо *лопійу*, який утворює основу другого структурного поверху Східноєвропейської платформи, то його визначальною подійною історико-геологічною ознакою є те, що нижня границя “проводится по появлению первых достоверных водных осадочных и вулканогенных отложений” [16, с. 10].

Нижня границя наступного, карельського комплексу в “Общей стратиграфической шкале нижнего докембрия России” определена как важнейший событийный рубеж в истории образования кристаллического фундамента ВЕП. В типовой стратотипической провинции Балтийского щита она занимает главную в истории раннедокембрийской стратисферы структурно-метаморфическую и палеогеографическую перестройку. С этой перестройкой, фиксируемой крупным структурно-метаморфическим несогласием и стратиграфическим перерывом, связаны формирование эпиархейской пенепленизированной области завершённой складчатости и начало принципиально нового литогенеза, отличающегося образованием коры химического выветривания, высокозерлых кварцевых терригенно-осадочных отложений и чередующихся с ними вулканогенных пород третьего (карельского) структурно-тектонического этажа ВЕП” [16, с. 11].

³ Повна назва схеми – “Корреляционная стратиграфическая схема нижнепротерозойских и архейских отложений Карело-Кольского региона” [9].

Щодо стратиграфічного обсягу та геоеволюційного змісту лопійського й карельського комплексів під час їхнього затвердження як стратотипів нижнього докембрію “Общей стратиграфической шкалы России” не було принципових заперечень. Водночас були пропозиції щодо заміни саамського комплексу обґрунтованим поділом дозеленокам'яних утворень Алдано-Станового щита, але їх не було погоджено [9].

Воронезький кристалічний масив. Після ухвалення чинної “Общей стратиграфической шкалы России” [20] стратиграфічні підрозділи цього регіону, які до того називали серіями [40], було введено й у стратиграфічну схему Воронезького кристалічного масиву як комплекси суперкрудальних утворень [41]. Саамський еонотемі в схемі відповідає *обоянський плутоно-метаморфічний комплекс*, у якому розрізняють брянську (діафторовану грануліто-гнейсову) і россошанську (амфіболіто-гнейсову) асоціації⁴. Лопійська еонотема представлена типовим зеленокам'яним *михайлівським комплексом* у складі олександрівської та лебединської серій. Карельську еонотеми представляють два підрозділи: *курска серія*, для якої збережено її традиційну назву, та *оскільський комплекс*.

Кореляцію стратиграфічних комплексів нижнього докембрію розглянутих регіонів з комплексами УЩ за їхньою належністю до типів стратигенних метаморфічних комплексів показано в таблиці. Вона демонструє подібність комплексів різних регіонів, що, на думку більшості дослідників, свідчить не тільки про близькі умови формування однотипних комплексів, але і їхню наймовірнішу відповідність однаковим, квазісинхронним етапам розвитку земної кори. Але в цій праці свідомо не розглядаємо питання хроностратиграфічної та ізотопно-хронометричної кореляції комплексів. На наш погляд, така повноцінна кореляція неможлива без хоча б гіпотетичного усвідомлення та висвітлення як умов формування вихідних товщ стратигенних метаморфічних комплексів, так і наступних процесів їхнього метаморфізму, насамперед природи чинників і тривалості метаморфізму. А ці питання заслуговують на спеціальну окрему публікацію.

Мета ж цієї статті полягала суто в обґрунтуванні доцільності введення до нової стратиграфічної схеми УЩ передбаченого СКУ таксона “комплекс” як за регіональними ре-

зультатами стратиграфічних досліджень УЩ, які розглянуто в попередній статті, так і зважаючи на досвід виділення стратиграфічних комплексів в інших регіонах поширення нижнього докембрію.

Висновки. Матеріал, викладений в обох статтях, дає змогу зробити такі висновки:

1. Найбільші стратиграфічні підрозділи чинної КХС УЩ, які показано в ній як “серії”, заслуговують або на переведення їх у ранг “стратиграфічних комплексів”, або зарахування до комплексів через об'єднання серій.

2. Переведення серій КХС УЩ у комплекси зумовлено не тільки потребою формальної відповідності стратиграфічної схеми нижнього докембрію УЩ “Стратиграфічному кодексу України”, але й неупередженими об'єктивними даними. Усі серії КХС УЩ, крім штучно розірваних у часі серій грануліто-гнейсових комплексів, відповідають великим етапам геологічного розвитку УЩ, а за рівнем сучасного вивчення їх і самі можна поділити на серії. Водночас назви деяких серій КХС УЩ, які неодноразово змінювали свій склад та вік і тепер у КХС УЩ мають спотворений вигляд, відповідно до вимог СКУ, треба переглянути.

3. У разі переведення серій КХС УЩ у комплекси у новій стратиграфічній схемі, задля спадкоємності з попередніми схемами, доцільно зберегти географічні назви серій, зокрема для росинсько-тікицького й конкського комплексів, хоча для них раніше вже пропонувано інші назви – тікицький і середньопридніпровський комплекси.

4. Огляд історії виділення та використання стратиграфічних комплексів у різних (крім УЩ) регіонах поширення нижнього докембрію засвідчує таке. Етапи формування перевірених часом стратотипових комплексів окремих щитів зведені в ранг геохронологічних підрозділів регіональних стратиграфічних шкал: *алданій, становий, сахоборій* у схемі Алдано-Станового щита, *саамій, лопій, карелій* у схемі Балтійського щита. А комплекси Балтійського щита навіть визнано стратотипами еонотем “Общей стратиграфической шкалы нижнего докембрия России” [20]. У КХС УЩ теж виділено підрозділи регіональної стратиграфічної шкали. Але їхні назви, що не передбачають для архею ніяких конкретних регіональних стратиграфічних підрозділів (стратотипів), позначають лише віртуальні відрізки геологічного часу, а тому не мають жодного сенсу й у наступній стратиграфічній схемі УЩ їх має бути замінено місцевими назвами найповніших стратотипових комплексів.

⁴ Є. М. Крестін ще на початку 80-х років ХХ сторіччя виділяв у складі дозеленокам'яного докембрію Воронезького кристалічного масиву брянську серію, утворену породами гранулітової фації, та обоянську, що належить до амфіболітової фації [15].

Таблиця. Кореляція стратиграфічних комплексів різних регіонів поширення нижнього докембрію

Типи стратигенних метаморфічних комплексів	Регіональні стратиграфічні комплекси				
	Український щит	Алдано-Становий щит	Анабарський щит	Східна частина Балтійського щита	Воронезький кристалічний масив
гнейсо-сланцевий (метакарбонатно-теригенний)	інгуло-інгулецький, тетерівський	удоканський	немає	ладозький	немає
залізисто-кременисто-сланцевий (метавулканогенно-хемогенно-теригенний)	криворізько-білозерський, гуляйпільський	угуйський (?), маймаканський	немає	карельський	курска серія та оскільський комплекс
зеленокам'яний (метавулканогенний)	конкський, осипенківський	олондинський, чуміканський	немає	лопійський	михайлівський
амфіболіто-гнейсовий	аульський, росинсько-тікицький	становий	немає	саамський	россошанська асоціація
грануліто-гнейсовий	побузький, приазовський	алданський	анабарський		брянська асоціація

ЛІТЕРАТУРА

1. Алдано-Забайкальская серийная легенда Госгеолкарты-1000/3. – Иркутск, 2009. – 157 с.
2. Березкин В. И., Богомолова Л. М., Смелов А. П., Тимофеев В. Ф. Метаморфизм докембрия Восточной части Олекминской складчатой зоны//Метаморфизм докембрия в районе Байкало-Амурской магистрали. – Ленинград: Наука, 1983. – С. 34–48.
3. Бурмистров В. Н., Апольский А. П., Четкин В. С. К вопросу о внутреннем строении и расчленении удоканского комплекса (Кодаро-Удоканская структурно-формационная зона)//Докл. АН СССР, 1986. – Т. 291. – № 6. – С. 1432–1436.
4. Вишневский А. Н. Метаморфические комплексы Анабарского кристаллического массива. – Ленинград: Недра, 1978. – 213 с.
5. Голдзевич Б. Л. Архей Становой складчатой системы//Геология и металлогения докембрия Дальнего Востока. – Ленинград: Наука, 1981. – С. 35–45.
6. Другова Г. М. Батомгская область//Докембрийская геология СССР. – Ленинград: Наука, 1988. – С. 276–282.
7. Другова Г. М., Дук В. Л., Сочава А. В. Олекминская область//Докембрийская геология СССР. – Ленинград: Наука, 1988. – С. 261–276.
8. Другова Г. М., Харитонов А. Л., Бушмин С. А., Чухонин А. П., Шулеико И. К. Структурно-метаморфическое развитие олондинского комплекса (Восточная Сибирь)//Метаморфизм докембрия в районе Байкало-Амурской магистрали. – Ленинград: Наука, 1983. – С. 49–65.
9. Информация о III межведомственном региональном стратиграфическом совещании по стратиграфии нижнего докембрия Карелии и Кольского п-ва от 18 июня 1999 года (Петрозаводск)//Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 32. – Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2001. – С. 32–36.
10. Кирилюк В. П. Об особенностях строения и эволюции раннедокембрийского фундамента щитов древних платформ (опыт геотектонического анализа)//Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых. Материалы XXXVIII Тектонического совещания. Т. 1. – Москва: ГЕОС, 2005. – С. 281–285.
11. Кирилюк В. П. Тектонічна карта України. Масштаб 1:1 000 000. Частина П. Тектоніка фундамента Українського щита. Масштаб 1:2 000 000. Пояснювальна записка. – Київ: УкрДГРІ, 2007. – 78 с.
12. Кирилюк В. П. Формационное расчленение и корреляция гранитно-метаморфических комплексов щитов территории СССР. Автореф. дисс. ... докт. геол.-минерал. наук. – Киев, 1986. – 40 с.
13. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита/К. Ю. Єсипчук, О. Б. Бобров, Л. М. Степанюк, М. П. Щербак, Є. Б. Плеваський, В. М. Скобелев, А. С. Дранник, М. В. Гейченко. – Київ, 2004. – 30 с.
14. Коржинский Д. С. Докембрий Алданской плиты и хребта Станового//Стратиграфия СССР. Т. I. Докембрий СССР. – Москва-Ленинград: Изд-во АН СССР, 1939. – С. 349–366.
15. Крестин Е. М. Природные ассоциации раннеархейских суперкрупных образований Курско-Воронежского кристаллического массива, их геологическая и генетическая интерпретация//Породные ассоциации серых гнейсов архея (геология и петрология). – Ленинград: Наука, 1984. – С. 168–175.
16. Негруца В. З. Нижний докембрий//Состояние изученности стратиграфии докембрия и фанерозоя России. Задачи дальнейших исследований. Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 38. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. – С. 7–14.
17. Неелов А. Н., Глебовицкий В. А., Байкова В. С., Дук Г. Г., Карсаков Л. П., Милькевич Р. И., Седова И. С., Турченко С. И. Эволюция метаморфических поясов юго-востока Восточной Сибири//Метаморфические пояса СССР. – Ленинград: Наука, 1971. – С. 117–144.
18. Неелов А. Н., Седова И. С. Западная часть Станового хребта//Стратиграфия СССР. Нижний докембрий. Полутом. Азиатская часть СССР. – Москва: Госгеолтехиздат, 1963. – С. 193–245.
19. Нужнов С. В., Кудрявцев В. А., Ахметов Р. Н. О выделении сахарских (позднеархейских) отложений Алданского щита//Докл. АН СССР. – 1968. – Т. 182. – № 2. – С. 164–166.
20. Общая стратиграфическая шкала нижнего докембрия России. Объяснительная записка. – Апатиты, 2002. – 13 с.
21. Павловский Е. В. Геологический очерк района Верхней Чары – Олёкмо-Витимская горная страна//Тр. Всесоюз. геол.-развед. объединения. – 1933. – Вып. 271. – С. 69–102.
22. Петров А. Ф. Докембрийские орогенные комплексы запада Алданского щита. – Новосибирск: Наука, 1976. – 120 с.
23. Петров А. Ф. К стратиграфии нижнедокембрийских отложений Олекминского и Батомгского блоков Алданского щита//Стратиграфия нижнего докембрия Дальнего Востока. – Владивосток, 1990. – С. 41–49.
24. Постановление по общей стратиграфической шкале докембрия СССР, принятой на Уфимском совещании в 1977 г.//Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 19. – Ленинград, 1981. – С. 5–11.
25. Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 33. – Санкт-Петербург, 2002. – 56 с.
26. Рабкин М. И. Анабарский щит//Стратиграфия СССР. Нижний докембрий. Полутом. Азиатская часть СССР. – Москва: Госгеолтехиздат, 1963. – С. 170–180.
27. Рабкин М. И. Геология и петрология Анабарского кристаллического щита. – Москва: Госгеолтехиздат, 1959. – 163 с.
28. Ранний докембрий Балтийского щита. – Санкт-Петербург: Наука, 2005. – 711 с.
29. Реутов Л. М., Миронюк Е. П., Любимов Б. К., Магнусевский Э. Л. Геология западной части Алданского щита. – Москва: Недра, 1971. – 236 с.
30. Решение регионального рабочего совещания “Стратиграфия нижнего докембрия юга Дальнего Востока”, г. Хабаровск, 12–14 апреля 1988 г.//Стратиграфия нижнего докембрия Дальнего Востока. – Владивосток, 1990. – С. 146–147.
31. Решения IV межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию и фанерозою юга Дальнего Востока и Восточного Забайкалья. Объяснительная записка к стратиграфическим схемам. – Хабаровск, 1994. – 123 с.
32. Розен О. М., Андреев В. П., Белов А. Н., Бибикина Е. В., Злобин В. Л., Ляпунов С. М., Милановский С. Ю., Ножкин А. Д., Рачков В. С., Солюшкин В. Е., Суханов М. К., Шахотко Л. И. Архей Анабарского щита и проблемы ранней эволюции Земли. – Москва: Наука, 1988. – 253 с.
33. Салон Л. И. Байкальская горная область//Стратиграфия СССР. Нижний докембрий. Полутом. Азиатская часть СССР. – Москва: Госгеолтехиздат, 1963. – С. 264–285.
34. Салон Л. И. Геологическое развитие Земли в докембрии. – Ленинград: Недра, 1982. – 343 с.
35. Салон Л. И. История геологического развития докембрийской геосинклинальной системы Байкал//Стратиграфия и корреляция докембрия. Докл. сов. геологов XXI сессии МГК. Проблема IX. – Москва-Ленинград: Изд-во АН СССР, 1960. – С. 91–105.
36. Стратиграфічний кодекс України/Відп. ред. П. Ф. Гужик; 2-ге вид. – Київ, 2012. – 66 с.
37. Стратиграфический кодекс России. Издание третье. – Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. – 96 с.
38. Стратиграфический словарь СССР. Нижний докембрий. – Ленинград: Наука, 1988. – 397 с.
39. Стратиграфия СССР. Нижний докембрий. Европейская часть СССР. Книга 1. – Москва: Недра, 1988. – 262 с.
40. Стратиграфия СССР. Нижний докембрий. Европейская часть СССР. Книга 2. – Москва: Недра, 1988. – 299 с.
41. Чернышов Н. М., Альбеков А. Ю., Рыборак М. В. О современном состоянии схемы стратиграфии и магматизма раннего докембрия Воронежского кристаллического массива//Вестник ВГУ. Серия геология. – 2009. – № 2. – С. 33–40.
42. Шульдинер В. И. Принципы построения докембрийской геологической шкалы и вопросы расчленения раннего докембрия Алдано-Станового региона//Стратиграфия нижнего докембрия Дальнего Востока. – Владивосток, 1990. – С. 4–9.
43. Эволюция раннедокембрийской литосферы Алдано-Олекмо-Станового региона (структура, состав, процессы). – Ленинград: Наука, 1987. – 309 с.

REFERENCES

1. Aldan-TransbaikaliaseriallegendoftheStategeologicalmap-1000/3. – Irkutsk, 2009. – 157 p. (In Russian).
2. Berezkin V. I., Bogomolova L. M., Smelov A. P., Timofeev V. F. Metamorphism of Precambrian of the East part of Olekma plicate zone//Metamorfizm dokembriya v rayone Bajkalo-Amurskoj magistrali. – Leningrad: Nauka, 1983. – P. 34–48. (In Russian).

3. *Burmistrov V. N., Apolskij A. P., Chechetkin V. S.* To the question about an internal structure and dismemberment of Udokan complex (Kodar-Udokan structural-formational zone)//*Doklady AN USSR*. – Vol. 291. – № 6. – P. 1432–1436. (In Russian).
4. *Vishnevskij A. N.* Metamorphic complexes of Anabar crystalline block. – Leningrad: Nedra, 1978. – 213 p. (In Russian).
5. *Godzevich B. L.* Archean of the Stanovaya plicate system//*Geologiya i metallogeniya dokembriya Dalnego Vostoka*. – Leningrad: Nauka, 1981. – P. 35–45. (In Russian).
6. *Drugova G. M.* Batomga area//*Dokembrijskaya geologiya SSSR*. – Leningrad: Nauka, 1988. – P. 276–282. (In Russian).
7. *Drugova G. M., Duk V. L., Sochava A. V.* Olekma area//*Dokembrijskaya geologiya SSSR*. – Leningrad: Nauka, 1988. – P. 261–276. (In Russian).
8. *Drugova G. M., Haritonov A. L., Bushmin S. A., Chuhonin A. P., Shuleshko I. K.* Structural-metamorphical development of Olondo complex (East Siberia)//*Metamorfizm dokembriya v rayone Bajkalo-Amurskoj magistrali*. – Leningrad: Nauka, 1983. – P. 49–65. (In Russian).
9. Information about III interdepartmental regional stratigraphic conference on stratigraphy of the Lower Precambrian of Karelia and Kola peninsula from June, 18, 1999 (Petrozavodsk)//*Postanovleniya Mezhdovedstvennogo stratigraficheskogo komiteta i ego postoyannyh komissij*. Iss. 32. – Sankt-Peterburg: VSEGEI, 2001. – P. 32–36. (In Russian).
10. *Kyrylyuk V. P.* About the features of structure and evolution of early precambrian basement of shields of ancient platforms (experience of geotectonic analysis)//*Tektonika zemnoj kory i mantii. Tektonicheskie zakonomernosti razmeshheniya poleznyh iskopaemyh. Materialy XXXVIII Tektonicheskogo soveshchaniya*. Vol. 1. – Moskva: GEOS, 2005. – P. 281–285. (In Russian).
11. *Kyrylyuk V. P.* Tectonic map of Ukraine. Scale 1:1 000 000. Part 2. Tectonics of Basement of the Ukrainian shield (Explanatory note to the “Tectonic map of Basement of the Ukrainian shield” of scale 1:2 000 000). – Kyiv: UkrDHRI, 2007. – 76 p. (In Ukrainian).
12. *Kyrylyuk V. P.* Formational dismemberment and correlation of granit-metamorphic complexes of the shields of territory of the USSR. Abstr. dis. doctor. geol.-min. sci. – Kiev, 1986. – 40 p. (In Russian).
13. Correlation chronostratigraphic scheme of Early Precambrian of the Ukrainian shield (explanatory note)//*K. Yu. Yesypchuk, O. B. Bobrov, L. M. Stepaniuk, M. P. Shcherbak, Ye. B. Hlevaskyi, V. M. Skobeliev, A. S. Drannyk, M. V. Heichenko*. – Kyiv, 2004. – 30 p. (In Ukrainian).
14. *Korzhinskij D. S.* Precambrian of Aldanian platform and Stanovoj range. – Moskva-Leningrad: AN USSR, 1939. – P. 349–366. (In Russian).
15. *Krestin E. M.* Natural associations of the supeccrustal formations of Early Archean of the Kursk-Voronezh crystalline massif, their geological and genetic interpretation//*Porodnye asociacii seryh gnejsov arheya (geologiya i petrologiya)*. – Leningrad: Nauka, 1984. – P. 168–175. (In Russian).
16. *Negruva V. Z.* Lower Precambrian//*Sostoyanie izuchennosti stratigrafiy dokembriya i fanerozoja Rossii. Zadachi dalnejshih issledovaniy*. *Postanovleniya Mezhdovedstvennogo stratigraficheskogo komiteta i ego postoyannyh komissij*. Iss. 38. – Sankt-Peterburg: VSEGEI, 2008. – P. 7–14. (In Russian).
17. *Neelov A. N., Glebovickij V. A., Bajkova V. S., Duk G. G., Karsakov L. P., Milkevich R. I., Sedova I. S., Turchenko S. I.* Evolution of metamorphic belts of southeast of East Siberia//*Metamorficheskie poyasa USSR*. – Leningrad: Nauka, 1971. – P. 117–144. (In Russian).
18. *Neelov A. N., Sedova I. S.* Western part of the Stanovoy ridge//*Stratigrafiya SSSR. Nizhnij dokembrij. Polutom. Aziatskaya chast SSSR*. – Moskva: Gosgeoltekhizdat, 1963. – P. 193–245. (In Russian).
19. *Nuzhnov S. V., Kudryavcev V. A., Ahmetov R. N.* About the selection of Sahaborij (Late Archean) sedimentations of Aldanian shield//*Doklady AN SSSR*. – 1968. – Vol. 182. – № 2. – P. 164–166. (In Russian).
20. General stratigraphic scale of Lower Precambrian of Russia. Explanatory message. – Apatity, 2002. – 13 p. (In Russian).
21. *Pavlovskij E. V.* Geological essay of district of Overhead Chara – Olekma-Vitimian mountain country//*Trudy Vsesoyuznogo geologo-razvedochnogo obedineniya*. – 1933 – Iss. 271. – P. 69–102. (In Russian).
22. *Petrov A. F.* Precambrian orogenic complexes of West of Aldanian shield. – Novosibirsk: Nauka, 1976. – 120 p. (In Russian).
23. *Petrov A. F.* To stratigraphy of Lower Precambrian sedimentations of Olekman and Batomgian blocks of Aldanian shield//*Stratigrafiya nizhnego dokembriya Dalnego Vostoka*. – Vladivostok, 1990. – P. 41–49. (In Russian).
24. The decision on the general stratigraphic scale of the Precambrian USSR, accepted on the Ufa conference in 1977//*Postanovleniya Mezhdovedstvennogo stratigraficheskogo komiteta i ego postoyannyh komissij*. Iss. 19. – Leningrad, 1981. – P. 5–11. (In Russian).
25. The decisions of the Interdepartmental stratigraphic committee and his standing committees. Iss. 33. – Sankt-Peterburg, 2002. – 56 p. (In Russian).
26. *Rabkin M. I.* Anabarian shield//*Stratigrafiya SSSR. Nizhnij dokembrij. Polutom. Aziatskaya chast SSSR*. – Moskva: Gosgeoltekhizdat, 1963. – P. 170–180. (In Russian).
27. *Rabkin M. I.* Geology and petrology of Anabarian crystalline shield. – Moskva: Gosgeoltekhizdat, 1959. – 163 p. (In Russian).
28. Early Precambrian of the Baltic shield. – Sankt-Peterburg: Nauka, 2005. – 711 p. (In Russian).
29. *Reutov L. M., Mironyuk E. P., Lyubimov B. K., Magnushevskij Je. L.* Geology of western part of Aldanian shield – Moskva: Nedra, 1971. – 236 p. (In Russian).
30. The decision of regional working conference “Stratigraphy of Lower Precambrian south of Far East”, Habarovsk, on April, 12–14 1988//*Stratigrafiya nizhnego dokembriya Dalnego Vostoka*. – Vladivostok, 1990. – P. 146–147. (In Russian).
31. The decisions of IV of interdepartmental regional stratigraphic conference for Precambrian and Phanerozoic souths of Far East and East Transbaikalia. Explanatory message to the stratigraphic schemes. – Habarovsk, 1994. – 123 p. (In Russian).
32. *Rozen O. M., Andreev V. P., Belov A. N., Bibikova E. V., Zlobin V. L., Lyapunov S. M., Milanovskij S. Ju., Nozhkin A. D., Rachkov V. S., Sonyushkin V. E., Suhanov M. K., Shahotko L. I.* Archean of Anabarian shield and problem of early evolution of Earth. – Moskva: Nauka, 1988. – 253 p. (In Russian).
33. *Salop L. I.* Baikal mountain area//*Stratigrafiya SSSR. Nizhnij dokembrij. Polutom. Aziatskaya chast SSSR*. – Moskva: Gosgeoltekhizdat, 1963. – P. 264–285. (In Russian).
34. *Salop L. I.* Geological development of Earth in Precambrian. – Leningrad: Nedra, 1982. – 343 p. (In Russian).
35. *Salop L. I.* History of geological development of the Precambrian geosynclinals system of Bajkalid//*Stratigrafiya i korrelyatsiya dokembriya. Doklady sovetikh geologov XXI sessii MGK. Problema IX*. – Moskva-Leningrad: AN USSR, 1960. – P. 91–105. (In Russian).
36. Stratigraphic Code of Ukraine. Second edition: P.F. Hozhyk (Resp. ed.). – Kyiv, 2012. – 66 p. (In Ukrainian).
37. Stratigraphic Code of Russia. Third edition. – Sankt-Peterburg: VSEGEI, 2006. – 96 p. (In Russian).
38. Stratigraphic dictionary of the USSR. Lower Precambrian. – Leningrad: Nauka, 1988. – 397 p. (In Russian).
39. Stratigraphy of the USSR. Lower Precambrian. European part of the USSR. Book 1. – Moskva: Nedra, 1988. – 262 p. (In Russian).
40. Stratigraphy of the USSR. Lower Precambrian. European part of the USSR. Book 2. – Moskva: Nedra, 1988. – 299 p. (In Russian).
41. *Chernyshov N. M., Albekov A. Ju., Ryborak M. V.* About the modern state of the scheme of stratigraphy and magmatism of Early Precambrian of the Voronezh crystalline block//*Vestnik VGU. Seriya geologiya*. – 2009. – № 2. – P. 33–40. (In Russian).
42. *Shuldiner V. I.* Principles of construction of precambrian geochronological scale and questions of dismemberment of Early Precambrian of the Aldan-Stanovoj region//*Stratigrafiya nizhnego dokembriya Dalnego Vostoka*. – Vladivostok, 1990. – P. 4–9. (In Russian).
43. Evolution of Earlyprecambrian lithosphere of the Aldan-Olekma-Stanovoj region (structure, composition, processes). – Leningrad: Nauka, 1987. – 309 p. (In Russian).

Рукопис отримано 18.02.2019.

УДК 550.424.4

<https://doi.org/10.31996/mru.2020.1.34-43>

А. О. СПЛОДИТЕЛЬ, канд. геогр. наук, докторант (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України), м. Київ, Україна, aspodytel@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8109-3944>

A. SPLODYTEL, M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, aspodytel@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8109-3944>

ЛАНДШАФТНО-ГЕОХІМІЧНІ УМОВИ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ ТОКСИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ТЕРИТОРІЇ ВІЙСЬКОВОГО ПОЛІГОНУ “ОЛЕШКІВСЬКІ ПІСКИ”

LANDSCAPE-GEOCHEMICAL PRECONDITIONS AND REGULARITIES OF TOXIC ELEMENTS DISTRIBUTION ON “OLESHKIVSKI PISKY” MILITARY TRAINING SITE TERRITORY

Схарактеризовано основні ознаки ландшафтно-геохімічної структури військового полігону “Олешківські піски”. Проаналізовано особливості впливу військової навчальної діяльності на рівень забруднення ґрунтів і рослин важкими металами. Обґрунтовано схему відбору зразків для вивчення особливостей міграції важких металів з огляду на ландшафтну структуру території. Встановлено особливості розподілу важких металів у ґрунтах на різній відстані від вогневих позицій військового полігону. Досліджено розподіл і накопичення важких металів I й II класу небезпеки в ґрунтовому й рослинному покриві полігону. Визначено закономірності просторового розподілу рухомих і потенційно доступних форм важких металів. З’ясовано, що вміст важких металів у трьох рухомих формах становлять такі геохімічні асоціації, мг/кг: у кислоторозчинній формі: $Mn > Zn > Pb > Cu > V > Ni > Co > Cd$; в обмінній: $Mn > Zn > Pb > V > Co = Ni > Cu > Cd$; у водорозчинній формі: $Mn > Zn > Pb = V > Co > Ni > Cd > Cu$. Наведено результати досліджень щодо інтенсивності накопичення й характеру розподілу валових і рухомих форм важких металів у ґрунтовому просторі та їхню міграцію в профілі ґрунту. Виділено панівну техногенну геохімічну асоціацію: $Cd > Hg > Pb > Cu > Zn > Ni > V > Co > Mn$. Виявлено ландшафти з максимальним поліелементним забрудненням. На основі власного польового та експериментального матеріалу укладено ландшафтно-геохімічну карту території військового полігону “Олешківські піски”.

Встановлено динаміку міграції рухомих форм Ni , Zn , Cu , V , Pb та інших важких металів у ґрунтовому профілі дернового слабозвищеного піщаного ґрунту впродовж 2015–2019 років за рівнів імпактного забруднення. Визначено особливості поглинання рухомих форм важких металів у типових різновидах рослин території військового полігону протягом вегетаційних періодів 2015–2019 років.

Ключові слова: важкі метали, форми знаходження, сумарний показник забруднення, геохімічна асоціація, ландшафт, ландшафтно-геохімічні умови.

It is characterized main features of landscape-geochemical structure of “Oleshkivski pisky” military range. It is analysed special aspects of military training activity influence on the of soils and plants contamination level with heavy metals. Sampling scheme for studying of heavy metals migration features, with respect to landscape structure of the territory is substantiated. Special features of heavy metals distribution in soils at different distances from firing positions within military range have been determined. It is investigated distribution and accumulation of I and II danger class heavy metals in soil and vegetational cover of the military training site. The regularities of spatial distribution of mobile and potentially accessible forms of heavy metals are determined. It was defined that content of heavy metals in three movable forms are represented in the following geochemical units, mg/kg: in acid soluble form – $Mn > Zn > Pb > Cu > V > Ni > Co > Cd$; in exchangeable form – $Mn > Zn > Pb > V > Co = Ni > Cu > Cd$; in water soluble form – $Mn > Zn > Pb = V > Co > Ni > Cd > Cu$.

It is presented studies results on accumulation intensity and the nature of distribution of gross and mobile heavy metals forms in soil space and on their migration in the soil profile. The dominant technogenic geochemical unit was extracted: $Cd > Hg > Pb > Cu > Zn > Ni > V > Co > Mn$. Landscapes with maximum polyelement contamination have been identified. Landscape-geochemical map of “Oleshkivski pisky” military training site territory was drawn, relying on own field and experimental materials. Migration dynamics of Ni , Zn , Cu , V , Pb and other heavy metals mobile forms in the soil profile of soddy underdeveloped sandy soil during 2015–2019 under impact contamination levels has been determined. The peculiarities of heavy metals mobile forms absorption in typical plant species of the military range territory during 2015–2019 vegetation periods were clarified.

Keywords: metals, speciation forms, summarized contamination rate, geochemical association, landscape, landscape-geochemical conditions.

Вступ

В умовах інтенсивного техногенного впливу на геосистеми, зумовленого тривалим веденням військової діяльності, виникає реальна загроза забруднення всіх компонентів ландшафту важкими металами. Хімічний вплив заходів бойової підготовки призводить до зміни природних параметрів компонентів ландшафту під дією забруднювальних речовин, що утворюються внаслідок експлуатації систем зброї та військової техніки.

Військові полігони належать до територій небезпек з погляду можливого техногенного забруднення природного середовища. Тому оцінка ландшафтно-геохімічних умов їх-

ньої території стає одним із потрібних етапів аналізу еколого-геохімічного стану.

У зв'язку з цим важливо розробити методику комплексного вивчення, картографування та оцінки на засадах еколого-геохімічного підходу як основи обґрунтування комплексу реабілітаційних заходів, спрямованих на відновлення територій військових полігонів, забруднених унаслідок військової діяльності, для приведення їхнього екологічного стану до гарантовано-безпечних довіллію й здоров'ю людей рівнів і стандартів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В Україні вагомий внесок в еколого-геохімічні дослідження окремих компонентів ландшафту зробили праці Г. М. Бондаренка (2000, 2002, 2004), В. В. Доліна (2004, 2011),

В. О. Ємельянова (2004), І. В. Кураєвої (1996, 2002, 2010–2015, 2019), Г. В. Лисиченка (2009), Л. Л. Малишевої (1997, 2000), Б. Ф. Міцкевича (1971, 1981), О. Ю. Митропольського (2004, 2006), А. І. Самчука (1982, 1993, 1998, 2002, 2005, 2006, 2012), В. М. Шестопалова (2011) та інших учених.

Метою дослідження є визначення вмісту важких металів (ВМ) у ландшафтах військового полігону “Олешківські піски”, що підлягають різному впливу військової діяльності, а також аналіз ландшафтних передумов їхньої латеральної й радіальної міграції.

Об’єкти та методи досліджень

Об’єктом дослідження є ландшафтні комплекси військового полігону “Олешківські піски”.

Дослідження тривали впродовж 2015–2019 рр. у межах військового полігону “Олешківські піски” як складової частини території національного природного парку (НПП) з такою ж назвою.

Зразки ґрунту для вивчення вмісту та латерального перерозподілу ВМ відбирали з верхнього гумусного горизонту методом “конверта” по ландшафтно-геохімічній катені. Аналітичні роботи з визначення валового вмісту й рухомих форм ВМ у ґрунтах і фітомасі рослин виконано методом атомної адсорбції на спектрометрах С-115, “Сатурн-3” та методом мас-спектрометрії з індуктивно зв’язаною плазмою (ICP–MS) аналізатора ELEMENT-2 (Німеччина) в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України, Національному науковому центрі “Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського”. Окремі визначення рухомих форм мікроелементів отримано на приладі М=3030 (“Перкін-Ельмер”, США) і М=1800 (“Хітачі”, Японія), а також з використанням гамма-активаційного та рентгенфлуоресцентного аналізів в Інституті геології Польської академії наук (м. Варшава). Аналіз та інтерпретація коефіцієнтів концентрації сполук ВМ здійснено на ландшафтно-геохімічних засадах.

Ґрунтово-геохімічні обстеження виконували за такими методиками: гранулометричний склад за методом піпетки в модифікації Качинського (ДСТУ 4730.2007), загальний вміст гумусу за Тюрніним (ДСТУ 4289:2004), рН водної витяжки за ГОСТом 26423-85, рН сольової витяжки з ґрунту за ГОСТом 26484-85, рухомих форм ВМ, що вилучають ацетатно-амонієм буферним розчином з рН – 4,8 – за ДСТУ 4770.1:2007-4770.9:2007.

Результати дослідження

Загальні відомості

Військовий полігон є стаціонарним військовим об’єктом, який упродовж чималого проміжку часу розміщується та функціонує на певній території. Тому його можна зарахувати за прийнятою класифікацією до військових природно-технічних систем, які є одним із різновидів природних територіальних комплексів, що зазнали змін унаслідок військової діяльності. У системі стаціонарних військових об’єктів призначення полігону полягає в забезпеченні бойової підготовки військ, проведення тактичних навчань і табірних зборів артилерійських частин та підрозділів [2].

Процеси техногенного перетворення природних умов території військового полігону “Олешківські піски” розпочалися з 1957 року. На території Олешківської (Козачелажерської) піщаної арени був військовий полігон, на якому відпрацьовували військові навчання пілоти з країн Варшавського договору. З лютого 2010 року територія увійшла в склад заповідної зони національного природного парку “Олеш-

ківські піски”. Однак, у зв’язку з окупацією Російською Федерацією Кримського півострова та східних областей Міністерство оборони України відновило військові навчання на колишньому полігоні, що перебуває під охороною й у віданні національного природного парку.

Природні умови

Територія військового полігону “Олешківські піски” відповідно до фізико-географічного районування належить до Рибальченсько-Раденського ландшафтного району ландшафтно-області Нижньодніпровського терасово-дельтового степу Причорноморсько-Приазовського сухостепового ландшафтного краю [14].

У геологічному аспекті територія розміщується в межах північного схилу Причорноморської западини з глибиною залягання архейсько-протерозойського кристалічного фундаменту від 1200 м [17].

Геоморфологічною основою території є велика акумулятивна терасова рівнина, складена антропогеновою алювіально-дельтовою товщею на неогенових вапняково-мергелистих і піщано-глинистих утвореннях.

Літогенну основу сучасних ландшафтів території складають піщані й супіщані відклади, лесоподібні супіски та легкі суглинки середнього й верхнього пліоцену, частково міоцену. Піщано-суглинста товща алювіальних відкладів підстилається дуже розмитими й різноманітними за літологічним складом відкладами неогену потужністю 5–7 м. Піщано-супіщаний склад поверхневих відкладів зумовлений фізико-географічними особливостями території, зокрема температурними контрастами [5, 17].

З різним літологічним і механічним складом ґрунто-твірних порід пов’язана і висока варіабельність вмісту в них мікроелементів. Зокрема, вміст титану коливається в межах 1384–2614 мг/кг, цинку 12–52 мг/кг, нікелю 10–22 мг/кг тощо (табл. 1).

Для ландшафтно-структури дослідження характерне поєднання терасових піщаних рівнин (піщаних горбів) з урочищами міжбугристих і міжгорбистих западин [5].

Завдяки дослідженням автора опрацьовано й укладено ландшафтну та ландшафтно-геохімічну карту зазначеного району в масштабі 1:25000 [5] (рисунк). Створені нами карти розподілу вмісту важких металів у сучасному ґрунтовому покриві НПП “Олешківські піски” (станом на 2015, 2019 рр.) також є новим складником досліджень території військового полігону [18].

Територія полігону повністю розміщується в межах комплексу найвищих піщаних терас Дніпра. На глибині 80–150 см основна частина арени складена червоно-бурою глиною з укріпленням гальки. Крем’яна галька трапляється і в товщі піску, а також у піску котловин. Основна частина ландшаф-

Таблиця 1. Середній вміст мікроелементів у ґрунотвірних породах Олешківського полігону, мг/кг (за результатами власних досліджень)

Ґрунотвірні породи	Fe	Ti	Zn	Pb	Cu	Co	Mn	V	Ni
Давньоалювіальні піщані відклади	–	1382	12	8	2,1	2,6	110	23	10
Давньоалювіальні супіщані відклади	14533	4211	38	10	9,8	8,1	145	27	15
Глинисті леси	17609	2614	52	12	15	12	446	82	22

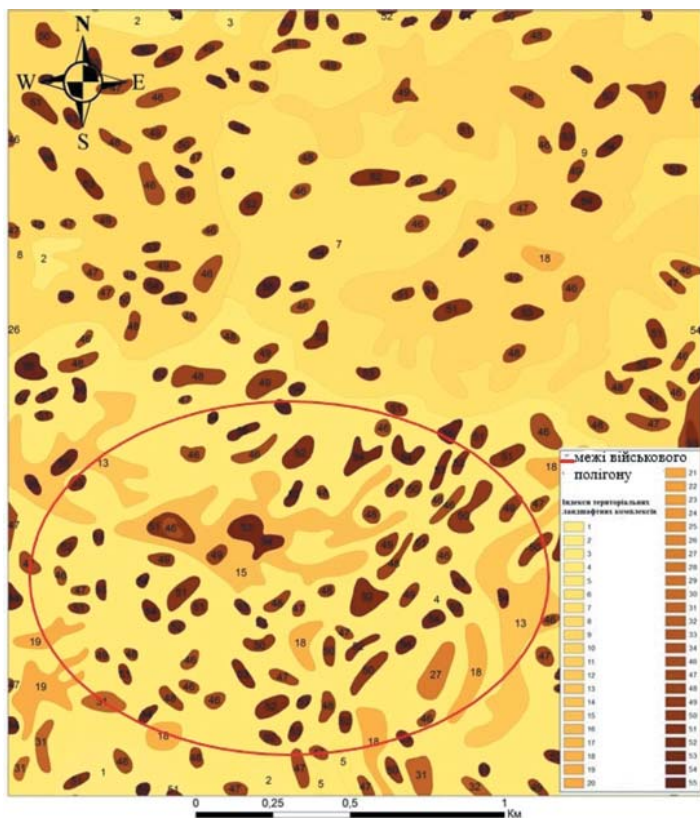


Рисунок. Ландшафтна структура військового полігону “Олешківські піски” та прилеглих територій (фрагмент)

ту складена високими піщаними буграми, що чергуються із численними западинами. Еолові форми рельєфу сформовані внаслідок еолового перероблення алювіальних відкладів надзаплавно-терасової рівнини. Піщані бугри характеризуються хаотичним розміщенням. Вони складені еоловими тонкозернистими пісками й супісками з доданням пілуватих часток. Середня висота піщаних бугрів – 6–8 м. Особливістю ландшафту є глибоке залягання ґрунтових вод – 15–20 м [17].

Ландшафтно-геохімічна структура

Міграційна активність забруднювальних речовин у ландшафтах визначається ландшафтно-геохімічними умовами, які залучають забруднювачі в процес перерозподілу. Перша група чинників сприяє підвищенню міграційних властивостей забруднювачів. Ці чинники регулюють кислотність та окисно-відновний потенціал ґрунтів, сприяють переходу забруднювачів у рухомі форми й визначають геохімічні класи міграції в ландшафтах піщаної арили як кислий (Н) і кислий глейовий (Н-Fe).

Дія другої групи чинників спрямована на утримання та запобігання міграції забруднювачів. До них належать наявність глинистих мінералів, уміст гумусу в ґрунтах, насичення їх основами, сприятливими для формування ландшафтно-геохімічних бар'єрів [13, 17].

Основний геохімічний фон тут становлять **ландшафти кислого геохімічного класу** – з провідною роллю іона водню H^+ : Н; Н,Н-Fe; Н-Fe.

Для ландшафтних комплексів **Н-класу** в межах території військового полігону характерними є ґрунти з невеликим умістом фізичної глини до 5 %, сума увібраних катіонів не перевищує 4,15–5,00 мг екв/100 г, у край низький уміст гумусу – до 0,8 %. Вологоємність ґрунту в гумусовому горизонті становить 8–11 %, у нижній частині профілю досягає 4–6 %.

Піски бідні поживними речовинами. За проведеними дослідженнями вони складаються з 0,02 % фосфору (P_2O_5) та 0,14 % калію (K_2O) у формі калійних польових шпатів. Наявність азоту (N) і карбонатів кальцію ($CaCO_3$) не зафіксовано [16]. У мінеральному складі давньоалювіальних відкладів домінуючими елементами виступають кварц і польовий шпат. Через легкий гранулометричний склад ґрунтів і промивний водний режим ландшафти цього класу збіднені на хімічні елементи (B, I, Br, Cr, Ni, Co, Zn, Cu), у ґрунтах мало N, P, K, але багато SiO_2 (до 94 %). Уміст мікроелементів може істотно коливатися залежно від механічного й мінерального складу ґрунтоутворювальних порід [15]. У піщаних і супіщаних ґрунтах ландшафтів Н-класу вміст рухомих елементів, за винятком цинку, – найнижчий [13].

Легкий гранулометричний склад описуваних ґрунтів, низький уміст обмінних основ і гумусу не сприяє закріпленню забруднювальних речовин у ґрунтах. Саме тому ландшафтно-геохімічні характеристики ландшафтних комплексів Н-класу не є сприятливими для акумуляції забруднювальних речовин.

В окремих частинах полігону, де ґрунтові води залягають близько від поверхні (глибина залягання підґрунтових вод близько 0,5 м), формуються ґрунти з кислим оглеєнням (**Н,Н-Fe – клас**) і низьким рН (менше 5,2). Крім іону водню, у ґрунтах досліджуваних ландшафтних комплексів починає переважати іон двовалентного заліза, наслідком чого є протікання процесу оглеєння. У глеевих горизонтах двовалентне залізо є не тільки в ґрунтових водах, розчинах, а й у вбирному комплексі ґрунтів [15]. Для заболочених ландшафтів характерні ґрунтово-водні підзоли з потужними оглеєними озалізненими горизонтами [13]. Унаслідок оглеєння Fe і Mn переходять у рухомий стан, однак міграція цих металів є різною. Mn рухоміший, його відновлення можливе ще в зоні окиснення, там де Fe міститься в тривалентній формі. У поверхневому горизонті ґрунти містять 0,2–0,5 % гумусу, на глибині 20–30 см близько 0,1 %. Сума поглинутих основ коливається в межах 2,5–4,0 мекв. У складі обмінних катіонів переважає кальцій.

Ландшафти цього класу займають невеликі простори на надзаплавно-терасовій рівнині, складеній давньоалювіальними відкладами. Типоморфними іонами виступають – H^+ і Fe^{2+} . Для ландшафтів характерний низький уміст кисню в ґрунті, накопичення гумусових речовин і дуже кисла реакція води. Ґрунтові води мало мінералізовані, містять органічні кислоти та Fe. Низька біологічна продуктивність кислих ландшафтів пояснюється дефіцитом кисню, який зумовлює дефіцит інших елементів. Надлишковими є Fe^{2+} і H^+ [16].

У межах досліджуваної території Н, Н-Fe-клас унаслідок зниженого гіпсометричного положення поверхні та близького рівня залягання підґрунтових вод представлений ландшафтними комплексами з оглеєними відмінами дерново-підзолистих ґрунтів.

Залежно від положення в ландшафтній структурі території певні ландшафтні комплекси Н, Н-Fe-класу мають різні характеристики за геохімічними показниками. Так, ландшафтні комплекси міжбугристих і міжгорбистих знижень, складені давньоалювіальними (піщаними й супіщаними) відкладами, характеризуються низьким умістом обмінних катіонів (1,9–2,78 мг екв/100г) і гумусу (0,8–0,9), кислотність близька до нейтральної – 6,0–6,3 %, уміст фізичної глини становить у середньому 7,2–8,4 %. Подібні характеристики мають ландшафтні комплекси найнижчих поверхонь тераси, що утворилися на давньоалювіальних пісках і супісках, проте

їхні відміни ґрунтів мають нижчий уміст фізичної глини у своєму складі – до 3 %.

Територіальний розподіл значень рН водного, який відображає кислотність ґрунтових розчинів у різних типах ґрунтів змінюється від 3,6 до 6,3. Що менше значення рН, то вищим є рівень кислотності ґрунту, отже вищою є рухливість переважної більшості речовин і сполук у водних розчинах. Більшість ґрунтів полігону мають нейтральну реакцію рН. Кислотність органічних ґрунтів у міжбугристих зниженнях дещо менша ($pH < 5,6-5,8$), що може сприяти акумуляції ВМ у подібних місцезнаходженнях [16].

Уміст гумусу у верхніх горизонтах ґрунтів полігону змінюється в межах від 0,2 до 0,9 %. Глибина горизонту максимального заглиблення є важливим показником міграції елементів зі змінною валентністю, до яких належать залізо, плутоній, алюміній тощо. Для таких елементів глейовий горизонт відіграє роль бар'єра на шляху їхньої міграції. Для території полігону глибина залягання глейового горизонту в ґрунтах варіює від 0,1–0,2 для дернових глейових піщаних до 2,1–2,8 і більше метрів для сухих дерново-підзолистих ґрунтів.

Закономірності розподілу токсичних елементів

Уміст ВМ у ґрунтового покриві залежить від взаємодії з гуміновими кислотами, що мають високу сорбційну ємність і є потужним геохімічним бар'єром. Інтенсивність міграції речовин залежить від гранулометричного складу ґрунтів і вмісту гумусу. Концентрації забруднювальних речовин у ґрунтах, зокрема ВМ визначають здебільшого типом ґрунтового покриву та морфологічними особливостями території, що впливають на процеси латеральної й радіальної міграції та акумуляції [6].

Як свідчать дослідження, у найбільшій кількості політанти акумулюються у верхньому ґрунтового горизонті, для гумусово-елювіального та елювіального горизонтів дерново-слабопідзолистих піщаних і супіщаних ґрунтів кількість забруднювальних речовин знижується внаслідок процесів виведення органічних і мінеральних речовин [21].

У котлах артилерії відбувається хімічне забруднення повітряного простору внаслідок емісії газів вибухового перетворення боеприпасів і ґрунтів – залишками вибухових речовин, що не розірвалися [2].

Під час стрільб на території полігону використовують боеприпаси з різним складом порошу та вибухових речовин, унаслідок горіння яких утворюються такі речовини, як азот, сажа, вуглеводні, плумбум, двоокис мангану та інші похідні. Так, під час вибуху 115-міліметрового осколково-фугасного боеприпасу, спорядженого гексогеном, утворюється близько 4000 л газу, який містить продукти згорання цієї вибухової речовини. До 30 % газів розсіюється в повітрі, частина важких фракцій осідає на ґрунт [2].

Серед небезпечних речовин, що входять до складу викидів військових транспортних засобів, найвивченіша поведінка плумбуму, який вивільнюється після спалювання пального. Визначено, що з усіх присадок, які містять свинець (Pb), близько 40 % його одразу осідає на ґрунт. Відстань, на яку поширюється свинець, може сягати 130 м, а на відстані 100 м від маршрутів постійного пересування машин концентрація Pb у ґрунті перевищує фон у п'ятеро. Характерною ознакою Pb, інших ВМ є те, що вони зв'язуються з колоїдами, а через рослини здатні надходити до організму людей [21].

Істотне місце в забрудненні ґрунту викидами транспорту посідають інші важкі метали. За даними досліджень 2019 року на території полігону, уздовж основних шляхів пере-

сування військової техніки, визначено наявність у ґрунтах купруму, цинку, кадмію, ванадію тощо. Під час бойової підготовки в буферній зоні та поблизу вогневих позицій полігону зафіксовано поодинокі геохімічні аномалії з умістом у ґрунті свинцю – близько 816 мг/кг, міді – 529 мг/кг, хрому – 320 мг/кг (точки відбору проб 137-19, 236-19, 421-19, 631-19, 811-19). Військові транспортні засоби є одним з поширених джерел хімічного впливу на довкілля [2].

Першочерговість аналізу валової форми вмісту забруднювачів у ґрунтах полігону є виправданою, оскільки вона характеризує геоекологічний стан і потенційну небезпеку забруднення ландшафтів у разі їхнього нагромадження та зростання концентрації.

У пробах ґрунту, відібраних на території військового полігону, найвищим виявився валовий уміст плумбуму. Концентрація Pb становить 18–66 мг/кг і перевищує фон та гранично допустимі концентрації (ГДК), показники яких відповідно становлять 6–8 і 30 мг/кг. Зафіксовано підвищений уміст валових форм купруму, кадмію, кобальту, цинку. Перевищення фону майже в усіх досліджуваних зразках ґрунтів зафіксовано для Ni (уміст сягає 12–18 мг/кг) і Cu (10–25 мг/кг). Уміст цих хімічних елементів перебуває в межах ГДК, однак інколи отримані значення перевищують його, що становить відповідно 24 мг/кг і 42 мг/кг. Близькими до фонових значень є кількість у ґрунті Hg (0,01 мг/кг) та V (10 мг/кг), а в точках 15-19, 28-19 та 76-19 зафіксовано незначне перевищення їхніх фонових значень. Концентрація Zn є високою (у межах відповідно 6,1 та 73 мг/кг) і перебуває вище фонових значень і значень ГДК [19]. Однак, для Co характерні локальні перевищення в точках моніторингу 32-15, 102-15, 120-19, 213-19 (6,2–8,1 мг/кг).

Закономірності радіального перерозподілу ВМ за генетичними горизонтами характерних ґрунтів території полігону досліджено на прикладі точок комплексного опису. Валовий уміст у точках відбору зразків (345-19, 418-19, 624-19) перевищує фонові значення, а подекуди – ГДК: V – 50–60 мг/кг (40 мг/кг), Pb – 70–90 мг/кг (10 мг/кг), Cu – 40–60 мг/кг (12–16 мг/кг), Ni – 30–50 мг/кг (для фонових показників 22 мг/кг) тощо.

На характер розподілу ВМ територією полігону впливає фізико-хімічний і морфологічний склад борових пісків. Визначено, що акумуляція ВМ у рівнинно-понижених середньо-сильнозарослих борових пісках суттєво відрізняється від високогорбистих слабогумусованих слабозарослих пісків і варіює в широкому діапазоні. Урочища рівнинно-середньохвилястих середньо-сильнозарослих борових пісків є давнішими формами рельєфу, для них характерні морфологічні та хімічні ознаки осолодіння. Процеси осолодіння сприяють міграції сполук ВМ у глибину ґрунтового профілю з ґрунтовою вологою. Розвиток дернового процесу сприяє висхідному руху ВМ, якого фактично немає на високогорбистих слабогумусованих слабозарослих борових пісках. Урочища рівнинно-середньохвилястих середньо-сильнозарослих борових пісків вирізняються слабкою диференціацією ґрунтового горизонту на генетичні горизонти та визначають відмінності в їхній сорбційній здатності. Так, у рівнинно-слабохвилястих середньо-сильнозарослих борових пісках ВМ накопичуються в більшій кількості, ніж у високо- та середньогорбистих слабо- й середньозарослих слабогумусованих слабозарослих борових пісках, відмінності можуть досягати від 1,5 раза за цинком і кобальтом до 15,4 раза за купрумом і плумбумом. У високогорбистих

слабогумусованих слабозарослих пісках зафіксовано вищі концентрації металів з порівняно невисокою атомною масою – нікелю, ванадію й мангану.

Найнижчий уміст цинку (6,6 мг/кг) характерний для *урочищ високо- й середньобугристих рухомих борових пісків* з глибоким заляганням ґрунтових вод, складених еоловими пісками, підстеленими давньоалювіальними відкладами з пісками перевіюваними негумусованими та слабогумусованими слабо- й середньозарослими та дерновими розвиненими слабогумусованими слабозарослими піщаними ґрунтами під сухими борами (*урочища 1–5*). Максимальний уміст цього елемента (63 мг/кг) характерний для дернових слабозарослих піщаних ґрунтів (*урочища 1–7*), які становлять 70 % загальної площі досліджуваної території. Аналіз умісту Zn у поверхневому горизонті досліджуваних ґрунтів дав змогу встановити тенденційне підвищення його концентрації з глибиною, що пов'язано з особливостями міграції забрудника.

Уміст аргентуму для вирівняних ділянок тераси становить 0,4 мг/кг, які характеризуються наявністю оглиненого піску в товщі давньоалювіальних пісків і крутістю підвітряних схилів не більш як 12°, плоским характером вершин без або з малою кількістю осередків дефляції. Концентрація цього елемента не перевищує встановлених норм ГДК на жодній з точок пробовідбору.

Уміст кобальту в поверхневому шарі ґрунтів зазвичай змінюється від 1 до 7 мг/кг. Концентрація в межах полігону становить 6,5–7,5 мг/кг. Високі показники вмісту кобальту в пробах ґрунтів (8,1 мг/кг), відібраних в *урочищах середньогорбистих слабо- й середньозарослих слабогумусованих слабозарослих борових пісків*, складених еоловими пісками з дерновими слабозарослими слабо-середньозарослими піщаними й супіщаними, дерновими слабозарослими глинисто-піщаними та дерновими слабозарослими піщаними ґрунтами на похованих еолово-делювіальних шаруватих відкладах (9–12). На заході території полігону в *урочищах високोगорбистих слабогумусованих слабозарослих борових пісків* з дерновими слабозарослими слабозарослими піщаними ґрунтами на еолових відкладах під сухими борами концентрації кобальту дуже малі (8) (1,7 мг/кг).

Підвищений уміст свинцю зафіксовано на всіх пробних площах полігону. Антропогенними джерелами потрапляння свинцю в ґрунт є ремонт зразків озброєння та військової техніки. Дослідження демонструють, що навіть у незабруднених районах на 1 га поверхні в середньому потрапляє до 180 г свинцю. Максимальний уміст (66 мг/кг) виявлено на позиціях для стрільби в *урочищах низькогорбистих слабогумусованих середньозарослих борових пісків* з дерновими розвиненими середньозарослими піщаними й легкосупіщаними ґрунтами на неглибоко похованих чорноземовмісних ґрунтах, підстелених еоловими відкладами під сухими та свіжими борами (13–15), попри характерні для них транзитні умови міграції.

Важливим чинником внутрішньої диференціації території дослідження є прошарки оглиненого піску у верхній товщі алювію. В умовах рівнинно-середньо й слабохвилястого рельєфу це помітно змінює умови мінерального живлення, зволоження й визначає формування *урочищ рівнинно-середньохвилястих середньо-сильнозарослих борових пісків*, складених давньоалювіальними дрібно-середньозернистими піщаними та супіщаними відкладами з оглиненими лінзами й прошарками (0,05–0,2 м) з дерновими розвиненими глибокими середньозарослими піщаними та піщано-суглинковими, дерновими розвиненими слабо-середньо- та сильнозарослими

легкосупіщаними ґрунтами під свіжими борами (16–19). Для цих урочищ характерні “пікові” показники вмісту свинцю, що становлять 92 мг/кг. На підставі результатів дослідження латерального перерозподілу свинцю зазначимо, що мінімальну його концентрацію зафіксовано в дернових розвинених глибоких середньозарослих піщано-суглинкових. Цим ґрунтам властива нейтральна реакція ґрунтового розчину, однак валовий уміст свинцю тут є в межах фону (12 мг/кг).

Найвищий рівень концентрації нікелю (35 мг/кг) зафіксовано в урочищах із чорноземами легкосупіщаними поверхнево-середньо-сильносолонцюватими сильнозарослими на давньоалювіальних пісках, розміщених переважно на півночі арени під свіжими суборами (20). Інші урочища теж вирізняються підвищеним умістом нікелю в ґрунтового покриві, найчастіше концентрація цього елемента перевищує регіональні фонові значення на кожній із точок пробовідбору (для нікелю фонове значення валового вмісту становить 15 мг/кг).

Кадмій належить до рідких розсіяних елементів, з одним з найбільших періодів напіврозпаду – близько 1200 років. Джерелом потрапляння кадмію в ґрунт є вихлопні гази військового транспорту. За вмістом Cd військовий полігон належить до порівняно незабруднених. Середній уміст забрудника в досліджуваних ґрунтах становить 0,15 мг/кг. Для елемента властива міграція вниз по профілю ґрунту і його накопичення у верхніх горизонтах може свідчити про техногенний шлях потрапляння в геосистему.

Максимальний уміст кадмію (0,2–0,5 мг/кг) зафіксовано для урочищ *рівнинно-слабохвилястих середньо-сильнозарослих борових пісків*, складених давньоалювіальними вапняковими глинисто-супіщаними відкладами з прошарками й лінзами легкосуглинкового матеріалу різної потужності із чорноземами супіщаними глибоко-сильносолонцюватими середньо-сильнозарослими із середньоглибоким еоловим нанесенням на супіщаних давньоалювіальних глинисто-супіщаних відкладах під свіжими суборами (21).

З-поміж досліджуваних ВМ високі показники концентрації в ґрунтах цієї території має купрум. Показники вмісту купруму в ґрунті залежать від материнських порід, однак на сучасному етапі збільшення концентрації сполук у верхньому гумусовому горизонті ґрунту пов'язане з підвищеним військовим впливом. На міграційну поведінку впливають процеси адсорбції, оклюзії, хелато- й комплексоутворення та мікробіологічної фіксації [1]. Виявлено чимале перевищення вмісту купруму 8 мг/кг для дернових слабозарослих слабо-середньозарослих піщаних ґрунтів на похованих чорноземовмісних супіщаних ґрунтах (22–26) під свіжими борами (табл. 2).

Концентрація мангану в ґрунтах досліджуваної території близька до середніх концентрацій Mn у регіоні, яка становить 640 мг/кг сухої маси.

Підвищений уміст мангану (760–820 мг/кг) характерний для знижених ділянок основної поверхні піщаної надзаплавно-терасової рівнини, що перебувають в умовах підвищеного зволоження.

Тут формуються *урочища рівнинно-знижених середньо-сильнозарослих борових пісків*, складених оглеєними давньоалювіальними дрібно-середньозернистими піщаними й супіщаними відкладами з оглиненими лінзами й прошарками (0,05–0,2 м) з дерновими слабозарослими глеюватими середньозарослими глинисто-піщаними на неглибоко похованих дернових розвинених глибоких глейових легкосупіщаних ґрунтах у комплексі з дерновими розвиненими сильнозарос-

Таблиця 2. Середній валовий уміст важких металів у ландшафтах території військового полігону “Олешківські піски”, мг/кг (глибина 0–15 см) (за власними даними 2015–2019 рр.)

Хімічний елемент	Урочища високо- й середньобугристих рухомих борових пісків, n=621	Урочища рівнинно-слабохвилястих і знижених середньо-сильнозарослих борових пісків, n=743	Середній валовий уміст ВМ у ландшафтних урочищах, n≥1300
Zn ²⁺	39,24	68,65	64,34
Pb ²⁺	28,63	52,34	44,37
Ni ²⁺	12,39	18,47	16,53
Co ²⁺	6,18	7,65	6,43
Cd ²⁺	0,18	0,29	0,21
Cu ²⁺	45,68	67,42	54,74
V ²⁺	31,18	47,11	38,86
Mn ²⁺	564,74	645,23	620,21

лими супіщано-легкосуглинковими на похованих дернових розвинених середньоглибоких глеюватих піщано-глинистих ґрунтах, підстелених слабооглеєними давньоалювіальними відкладами (27, 29–34) з умістом Mn > 820 мг/кг.

Джерелом надходження Mn у ґрунтовий покрив полігону є ґрунтоутворювальні породи. Найвища концентрація мангану переважає у верхньому ґрунтовому горизонті, що пов’язано з його фіксацією органічними сполуками. Також підвищена концентрація мангану простежується в урочищах, складених оглеєними давньоалювіальними дрібно-середньозернистими піщаними й супіщаними відкладами (з оглиненими лінзами й прошарками) (0,1–0,2 м) з дерновими слабозрозвиненими глеюватими слабосолончакуватими середньозарослими глинисто-піщаними ґрунтами на оглеєних давньоалювіальних відкладах під вологими борами (28).

Максимальний уміст усіх досліджуваних забруднювальних речовин характерний для знижень антропогенного походження (вирви від авіаційних бомб), які містять горизонти, збагачені оксидами й гідроксидами заліза. Вони складені переважно еоловими пісками, підстеленими оглеєними давньоалювіальними (верхньоантропогенними) відкладами, а природного походження – оглеєними давньоалювіальними дрібно-середньозернистими піщаними та супіщаними відкладами з оглиненими лінзами й прошарками (0,05–0,2 м). На днищах таких западин формуються дернові розвинені середньоглибокі глейові середньо-сильнозарослі солончакові легкосупіщані, дернові розвинені глибокі глеюваті та глейові слабосолончакуваті середньо-сильнозарослі супіщані та дернові слабозрозвинені глейові слабосолончакові середньозарослі глинисто-піщані ґрунти з підвищеним умістом плюмбуму, ванадію й нікелю (53, 42, 21 мг/кг) (46–55).

Сягаючи понад 8–9 м заввишки, високо- та середньобугристі рухомі борові піски визначають характер розподілу важких металів на території полігону. Уміст ВМ від вершини до основи бугра помітно зростає, що зумовлено безперервним механічним перенесенням частин піску з висотної частини бугра до його основи, де вони накопичуються у великій кількості. По-друге, унаслідок випадання опадів відбувається міграційний змив хімічних елементів. Потрапляючи на поверхню ґрунтового покриву, ВМ зазнають низку перетворень, і залежно від характеру геохімічних бар’єрів, властивих території, розсіюються або накопичуються. Очевидно, це слугує визначальним чинником у тому, що концентрації вище за ГДК виявлені лише для Zn, Pb, Cu від 2,3 (1,8–3,1 раза), валовий уміст інших металів нижче значень їхніх ГДК.

Визначено, що вміст купруму, мангану й кобальту в поверхневому шарі пісків полігону найбільше залежить від

їхнього вмісту в ґрунотвірних породах. Zn, попри підвищену міграційну спроможність, у пісках накопичується в істотно більшій кількості, порівнянюючи з іншими сполуками ВМ. Це зумовлено його приуроченістю до досить широкого діапазону гранулометричних фракцій. Водночас Co накопичується у верхній частині ґрунтового профілю у великих кількостях завдяки своїй низькій міграційній спроможності й малого винесення рослинами.

Отже, мікроелементний склад поверхневого шару борових пісків залежить від ґрунтоутворювальних порід, що є наслідком біогеохімічних процесів, що відбуваються в ґрунті, зокрема й під впливом рослинності.

Фоновий уміст ВМ у досліджуваних ґрунтах полігону підпорядковується загальним закономірностям розподілу, а рівень накопичення в ґрунтах здебільшого залежить від складу ґрунтоутворювальних порід.

Для загальної характеристики забрудненості ґрунтового покриву полігону ми розраховували показник сумарного забруднення за методикою Ю. Е. Саєта (Zc)

$$Zc = \sum K_{n_i} - \dots (n-1),$$

де n – кількість аномальних елементів; K_{n_i} – коефіцієнт перевищення над фоном (коефіцієнт концентрації).

Оцінку забруднення ґрунтів проводили відповідно до меж значень сумарного показника: при $Zc < 16$ – забруднення вважається допустимим; при $16 < Zc < 32$ – помірно небезпечним; при $32 < Zc < 128$ – небезпечним; при $Zc > 128$ – надзвичайно небезпечним [7].

Цей показник сягає максимальних значень у районі розміщення вогневих позицій і котла військового полігону. Zc поверхневого шару ґрунту (0–10 см), Cu, Pb, Zn, Co, V та Ni змінюється від 8 до 56, середній показник – 32, що відповідає небезпечному рівню забруднення ґрунтового покриву (табл. 3). Zc зменшується в напрямку від вогневих позицій до буферної зони. Унаслідок досліджень виділено

Таблиця 3. Оцінка осередків забруднення ґрунтів Олешківського військового полігону

Функціональна зона полігону	Середній сумарний показник забруднення	Категорія забруднення
Вогневі позиції	56	Небезпечна
Котел	42	Небезпечна
Придорожня смуга	32	Небезпечна
Житлова зона	14	Допустима
Буферна зона	17	Допустимо небезпечна

таку геохімічну асоціацію: $Cd > Hg > Pb > Cu > Zn > Ni > V > Co > Mn$.

З огляду на різну токсичність елементів ми розрахували сумарний показник Z_c , представлений у праці Ю. М. Водяницького (2011), за формулою

$$Z_{ст} = \sum (K_{K_i} \cdot K_{T_i}) - (n-1),$$

де K_{T_i} – коефіцієнт токсичності i -го елемента.

Значення коефіцієнтів токсичності елементів представлено в табл. 4.

Для вивчення часової динаміки показника концентрації ВМ у дернових розвинених середньозарослих піщаних ґрунтах полігону дані, які ми отримали 2015 року, порівняли з умістом валових форм ВМ. Порівняння даних наведено в табл. 5.

Отже, дослідження, проведені впродовж п'яти років, дали змогу визначити такі результати.

Уміст Hg , Cd і Ni зафіксовано на попередньому рівні, виявлено збільшення вмісту Pb , Zn , V і Mn , що зумовлено посиленням процесів міграції ВМ униз уздовж ґрунтового профілю, а також процесами ерозії й дефляції внаслідок зростання військової активності на полігоні.

У дернових розвинених слабогумусованих слабозарослих піщаних ґрунтах у 90-сантиметровому шарі міститься в 1,1 раза менше цинку, плумбуму й купруму, ніж у супіщаних, і в 1,8 раза менше цинку, плумбуму, кобальту, ніж у дернових розвинених середньозарослих супіщаних ґрунтах, що, на наш погляд, зумовлено тим, що в ґрунтах, утворених на давньоалювіальних супіщаних відкладах, міститься більша кількість валового вмісту означених сполук ВМ. У дернових розвинених середньозарослих легкосупіщаних ґрунтах, сформованих на легкосуглинкових відкладах, міститься більше валового вмісту Pb , Zn , Ni та Mn , порівнюючи з піщаними ґрунтами. Однак рухомість сполук ВМ у них є низькою й у верхніх горизонтах коливається від 0,4 до 1,1 %, знижуючись в елювіальних горизонтах і материнській породі до 0,1–0,3 %.

Отримані результати щодо вмісту й закономірностей розподілу ВМ дають змогу припустити, що екзогенні процеси та антропогенна діяльність впливають на рівень вмісту ВМ у ґрунтоутворювальних породах, однак прямий вплив на вміст ВМ у ґрунтового покриві мають чинники ґрунтоутворення.

Таблиця 4. Шкала небезпеки забруднювальних речовин території військового полігону “Олешківські піски” за коефіцієнтом токсичності

Клас небезпеки	Коефіцієнт токсичності	Хімічні елементи
1	1,52	Cd , Hg , Pb , Zn
2	1,03	Co , Ni , Cu
3	0,54	V , Mn

Таблиця 5. Динаміка середнього валового вмісту хімічних елементів у ґрунтах військового полігону “Олешківські піски”, мг/кг

Хімічні елементи / Роки	Cd	Pb	Zn	Ni	Co	Cu	Hg	V	Mn
2015	0,24	42	42	15	5,8	12	0,05	20	560
	0,1	8	8	6	1,2	6	0,01	8	120
2019	0,23	66	73	16	6,4	52	0,05	38	620
	0,1	8	6,6	6	1,1	8	0,03	4	240

Уміст ВМ у рослинному покриві

Ми дослідили накопичення деяких техногенних (купрум, плумбум, нікель) металів у типових різновидах рослин на території військового полігону впродовж вегетаційних періодів 2015–2019 років. Для вивчення вибрали ділянки в різних ландшафтно-геохімічних умовах території полігону з відмінним режимом функціонального зонування (табл. 6).

Для виявлення ступеня поглинання ВМ з ґрунту в рослини виконано хімічний аналіз досліджуваних зразків щодо вмісту в рослинах ВМ I та II класу небезпеки (Pb , Ni , Cu) тощо.

Розподіл ВМ у рослинах території полігону характеризується чималою спорадичністю. Максимальне й мінімальне значення концентрацій валових форм досліджуваних ВМ різняться до 50 разів. Зокрема, уміст валових форм сполук плумбуму змінюється в діапазоні від 2 до 42 мг/кг, мангану від 10 до 6500 мг/кг, купруму від 10 до 170 мг/кг, нікелю від 1 до 52 мг/кг. З віддаленням від вогневих позицій спостерігається зменшення концентрації валових форм сполук плумбуму й нікелю, концентрація сполук мангану є стабільно високою. Уміст валових форм ВМ у рослинах можна розмістити в такий ряд:

Досліджені різновиди рослин у найбільшій кількості акумулювали цинк і купрум, на другому місці за інтенсивністю накопичення є плумбум і манган. Високу акумулювальну здатність щодо купруму демонстрували верба попеляста (*Salix cinerea* L.), а низьку – сосна кримська (Палласа) (*Pinus pallasiana* D. Don.). Валовий уміст купруму в гілках сосни кримської (*Pinus pallasiana* D. Don.) становить 0,8 мг/кг, у гілках верби попелястої (*Salix cinerea* L.) 8–12 мг/кг. Зазначені різновиди у найменших кількостях накопичували ванадій і кобальт, а максимальні кількості цих елементів концентрували представники таких видів, як ковила волосиста (*Stipa capillata*) та осока віддаленоколоскова (*Carex distans*), – понад 30 мг/кг. Зокрема, зростання концентрації ВМ спостерігається в деревних видах. На відміну від трав'янистої рослинності у них розсічена будова листової пластинки й восковий наліт на листках, що пояснюються посиленням фіксації забруднювачів, які надходять повітряним шляхом від вибуху осколково-фугасних боєприпасів і сигнальних ракет.

Фонові значення вмісту купруму для трав'янистих рослин визначено в діапазоні концентрацій – 5,0–20,0 мг/кг сухої маси. ГДК для купруму становить 25,0–30,0 мг/кг сухої речовини. У досліджуваних різновидах рослинності вміст Cu становив 15–168 мг/кг сухої маси [20].

Максимальний уміст Cu зафіксовано для булавоносця сірватого (*Corynephorus canescens* (L.) Beauv.) (172 мг/кг) на дернових слабо-розвинених глеюватих середньозарослих піщаних ґрунтах (точка пробовідбору 216-19), жовтозілля дніпровського (*Senecio borysthenicus* (DC.) Andr.) (154 мг/кг) на дернових розвинених сильнозарослих супіщаних ґрунтах і ковили волосистої (*Stipa capillata*) (132 мг/кг) на дернових слабо-розвинених слабо-середньозарослих піщаних ґрунтах (241-19).

Таблиця 6. Концентраційні залежності вмісту важких металів у системі ґрунт-рослина

Тип ґрунту/рослинність		№ точки	Хімічний елемент, мг/кг														
		Генетичний горизонт, см	V	КБП	Cu	КБП	Co	КБП	Ni	КБП	Pb	КБП	Mn	КБП	Zn	КБП	Геохімічні ряди накопичення
Дернові слабо-розвинені слабо-середньозарослі піщані	340-15-4	P (69-130)	32		87		5		37		32		740		61		
	340-15-3	HP (28-69)	28		92		6		43		48		870		54		
	340-15-2	H (2-28)	68		83		8		55		60		938		72		
	340-15-1	Hd (0-1)	71		85		8		57		62		945		77		
Сосна кримська (Паласа)	340-1	Pinus pallasiаnа D. Don.	21	0,3	72	0,8	4	0,5	8	0,1	42	0,67	608	0,6	154	2	Zn>Cu>Pb>Mn>-Co>V>Ni
Ковила волосиста	340-2	Stipa capillata	38	0,5	77	0,9	5	0,6	17	0,3	39	0,6	703	0,7	169	2,1	Zn>Cu>Mn>Pb>-Co>V>Ni
Дернові слабо-розвинені глеюваті середньозарослі глинисто-піщані	825-17-4	Pgl (45-89)	76		67		8		24		50		1765		86		
	825-17-3	HPgl (4-45)	67		68		8		28		47		1980		105		
	825-17-2	H (e) (2-4)	83		72		10		34		51		2270		93		
	825-17-1	Hd (0-1)	85		75		12		36		54		2230		97		
Жовтозілля дніпровське	825-1	Senecio borysthenicus DC.	18	0,2	83	1,1	6	0,5	8	0,2	30	0,5	1230	0,5	123	1,2	Zn>Cu>Pb>Mn>-Co>Ni>V
Крушина ламка	825-2	Frangula alnus Mill.	31	0,3	95	1,2	5	0,4	14	0,4	21	0,4	1500	0,7	158	1,6	Zn>Cu>Mn>Pb>Ni>-Co>V
Дернові розвинені середньозарослі піщані та легкосупіщані	911-19-3	HPi (20-34)	47		165		14		27		46		1268		89		
	911-19-2	H (e) (2-3)	52		130		18		33		34		1354		102		
	911-19-1	Hd (0-2)	59		127		20		46		32		1360		103		
Вербя попельаста	911-1	Salix cinerea L.	45	0,7	168	1,3	6	0,3	10	0,2	28	0,9	1560	1,1	147	1,4	Zn>Cu>Mn>Pb>V>-Co>Ni
Берега дніпровська	911-2	Betula borysthenica Klokov	33	0,5	157	1,2	4	0,2	4	0,4	19	0,6	1340	0,9	118	1,1	Cu>Zn>Mn>Pb>V>-Ni>Co
Дернові розвинені глинисті глеюваті та глейові слабосолончакуваті середнь-сильнозарослі супіщані	1259-19-4	Ps (42-70)	131		58		3		61		26		698		65		
	1259-19-3	HPigs (23-42)	121		64		3		65		29		763		76		
	1259-19-2	Hegls (8-23)	110		75		4		54		27		873		118		
	1259-19-1	H(g)ls (2-8)	92		67		6		62		34		968		122		
Осока віддаленоколовська	1259-1	Carex distans	56	0,6	114	1,7	3	0,5	68	1	107	35	540	0,5	78	0,6	Pb>Ni>Cu>Zn>V>-Co>Mn

Примітка. КБП – коефіцієнт біологічного поглинання, n – кількість проб.

Критична концентрація плумбуму для різного виду рослин становить 10 мг/кг, фоновий уміст – у діапазоні від 0,6 до 5,0 мг/кг сухої речовини [8, 10, 11, 20].

Найбільший уміст плумбуму зафіксовано для осоки віддаленоколюскової (*Carex distans*) на дернових розвинених глибоких глеюватих і глейових слабосолончакуватих середньозарослих супіщаних ґрунтах – 100–107 мг/кг (160-16) і для житняка пухнастоквіткового (*Agropyron dasyanthum*) на дернових слабозарослих глейових слабосолончакуватих середньозарослих глинисто-піщаних ґрунтах – 97 мг/кг (157-16). Мінімальну концентрацію цього металу зареєстровано для берези дніпровської (*Betula borysthena Klovov*) і крушини ламкої (крушина звичайна) (*Frangula alnus Mill.*) на дернових слабозарослих глеюватих слабосолончакуватих середньозарослих піщаних ґрунтах (139-16, 140-16).

Проведені дослідження засвідчили, що нікель слабо акумулюється деревними рослинами й не перевищує ГДК. Найменша його концентрація в листі верби сірої (*Salix cinerea*) становить у середньому 2 мг/кг сухої маси впродовж усього вегетаційного періоду. У сосни кримської (Палласа) (*Pinus pallasiana D. Don.*) концентрація металу істотно вища (8–11 мг/кг) і суттєво відрізняється в усіх досліджуваних деревних різновидах. В умовах фону концентрація нікелю не змінювалася. У трав'янистих рослинах найвищі показники вмісту спостережено для пирію повзучого (*Elytrigia repens*) і ситника скупченого (*Juncus conglomeratus L.*) – 38 мг/кг (137-16, 134-16).

Загалом, накопичення нікелю в досліджуваних різновидах не перевищувало ГДК і не змінювалося впродовж досліджуваного періоду. Видової специфіки до накопичення металу не виявлено [11].

З'ясовано, що досліджені метали нерівномірно розподіляються органами й тканинами рослин, що можна продемонструвати геохімічними рядами в мг/кг (на прикладі сосни кримської (Палласа) (*Pinus pallasiana D. Don.*)):

Си: пагони (2,87) > деревина (2,21) > хвоя (1,83) > шишки (1,1).

Мп: хвоя (121,8) > деревина (63,5) > пагони (49,7) > шишки (21,6).

V, Сповідно: деревина (1,32; 0,384) > пагони (0,86; 0,186) > хвоя (0,69; 0,159) > шишки (0,43; 0,118).

Pb, Zn відповідно: пагони (3,21 і 33) > хвоя (2,91 і 28,7) > деревина (2,48 і 24,8) > шишки (0,92 і 19).

“Пікові” значення вмісту досліджуваних металів виявлено в деревині сосни кримської (Палласа) (*Pinus pallasiana D. Don.*), що зумовлено багаторічним накопиченням забруднювачів у стовбурі.

Однак, мінімальний уміст досліджено в шишках, що пояснюється захистом органів репродукції (шишки) від надлишкового накопичення токсичних елементів.

Досліджено, що листя верби сірої (*Salix cinerea*) у більших концентраціях накопичують купрум, цинк і кобальт, порівнюючи з листям берези дніпровської (*Betula borysthena Klovov*). Хвоя першого року життя сосни кримської (Палласа) (*Pinus pallasiana D. Don.*) вирізняється нижчим накопиченням досліджуваних ВМ, уміст яких перевищує ГДК у листі берези дніпровської (*Betula borysthena Klovov*).

Визначені ряди геохімічної спеціалізації різних видів деревних рослин демонструють більшу схильність до накопичення цинку та нікелю листяних порід дерев, наприклад, верби сірої (*Salix cinerea*). Виділено геохімічні асоціації для сосни кримської (Палласа) (*Pinus pallasiana D. Don.*) – Zn > Cu > Pb > Mn > Co > V > Ni та верби сірої (*Salix cinerea*) – Zn > Cu > Mn > Pb > V > Co > Ni.

Дослідження елементного складу листя чагарникових рослин виявило, що акумулятором купруму, нікелю, мангану, ванадію й плумбуму є крушина звичайна (*Frangula alnus Mill.*). Розподіл металів у листі крушини можна представити такою геохімічною асоціацією, мг/кг: Zn > Cu > Mn > Pb > Ni > Co > V.

Аномальні концентрації купруму для рослин виявлено в коренях житняка Лавренка (*A. lavrenkoanum*), цинку – у коренях тонконога вузьколистого (*Poa angustifolia L.*), кадмію – у коренях зіноваті дніпровської (*Cytisus borysthena Klovov*). Для багатьох видів рослин концентрації ВМ у підземних органах набагато вищі, ніж у надземних, що пояснюється бар'єрною функцією кореневої системи [8]. Отримані дані щодо вмісту ВМ у надземних органах рослин демонструють, що їхній розподіл відбувається в порядку зменшення: листя > квітки > стебла > плоди, але максимальні концентрації зафіксовано в органах за низхідною: стебла > листя > квітки > плоди.

Висновки

Аналіз ландшафтно-геохімічних умов території є невіддільним складником еколого-геохімічної оцінки території. Максимальні значення токсичних елементів зафіксовано в урочищах рівнинно-слабохвилястих і знижених середньозарослих борових пісків, що характеризують район розміщення вогневих позицій військового полігону. Найбільший уміст рухомих форм у ґрунтах характерний для біофільних елементів – Mn, Zn, Cu. Досліджено перевищення плумбуму, купруму, цинку у фітомасі рослин, порівнюючи із чинними ГДК.

Проведені дослідження виявили залежність перерозподілу ВМ від ландшафтно-геохімічної структури території полігону, що визначає характер і потенційну інтенсивність міграційних потоків забруднювачів. Це засвідчує доцільність систематичних досліджень ландшафтів полігону “Олешківські піски”.

ЛІТЕРАТУРА

1. Авессаломова И. А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 108 с.
2. Вазицкий П. Очерки военной экологии/П. Вазицкий. – Ленинград: Воениздат, 1989. – 105 с.
3. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах/А. П. Виноградов. – Москва: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
4. Воробьева Л. А., Рудакова Т. А., Лобанова Е. А. Тяжелые металлы в окружающей среде/Л. А. Воробьева, Т. А. Рудакова, Е. А. Лобанова. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – С. 28–34.
5. Географічна карта “Ландшафтні комплекси Національного природного парку “Олешківські піски” та прилеглих територій” (у цифровому форматі, базовий масштаб 1:25 000)/А. О. Сплодитель. Свідчення про реєстрацію авторського права на твір № 69449. Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації 06.10.2016.
6. Геохимия ландшафта: учеб. пособие/Н. К. Чертко и др. 2 изд., перераб. и доп. – Минск: БГУ, 2011. – 303 с.
7. Геохимия окружающей среды/Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
8. Добровольский В. В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние/В. В. Добровольский. – М.: Мысль, 1983. – 272 с.
9. Жовинский Э. Я. Геохимия техногенных металлов в почвах Украины/Э. Я. Жовинский, И. В. Кураева. – К.: Наукова думка, 2002. – 215 с.
10. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе “почва – растение”/В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 150 с.
11. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях; пер. с англ./А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
12. Косець М. І. Рослинність Козаче-Лагерської арени Нижньодніпров'я/М. І. Косець. – Журн. Ін-ту ботаніки АН УРСР. – 1936. – Т. 17. № 9. – С. 127–191.

13. Малишева Л. Л. Геохімія ландшафтів. Навч. посібник/Л. Л. Малишева. – К.: Либідь, 2000. – 472 с.
14. Маринич О. М. Удосконалена схема фізико-географічного районування України/О. М. Маринич, Г. О. Пархоменко, О. М. Петренко, П. Г. Шищенко. – УГЖ, 2003. – № 1. – С. 16–20.
15. Перельман А. И. Геохимия ландшафта/А. И. Перельман. – Москва: Высш. шк., 1975. – 342 с.
16. Перельман А. И. Геохимия ландшафта/А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – М.: Астрель-2000, 1999. – 763 с.
17. Проект організації території Національного природного парку “Олешківські піски”, охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів та об’єктів/Приватне акціонерне товариство “Науково-виробничий комплекс “Курс”. – Київ, 2013. – 305 с.
18. Серія географічних карт: Розподіл важких металів (Cu, Pb, V) у сучасному ґрунтовому покриві (горизонт 0–5 см) Національного природного парку “Олешківські піски” та прилеглих територій” (у цифровому форматі, базовий масштаб 1:50 000)/І. В. Кураєва, Л. Ю. Сорокіна, А. О. Сплідитель. Свідомство про реєстрацію авторського права на твір № 71505. Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації 19.04.2017.
19. Фононий вміст мікроелементів у ґрунтах України/А. І. Фатєєв, Я. В. Пашченко. – Харків, 2003. – 71 с.
20. Cottenie A. Plant quality response to the uptake of polluting elements/A. Cottenie, A. Dhaese, R. Camerlynck. Qual. Plantarum, 1976. – V. 26, № 3. – P. 93–319.
21. Sankaran U. K., Phillip S. Heavy metals uptake and accumulation by Typha angustata from Wetlands around thermal power station/Int. J. Ecol and Environ Sci. – 1990. – V. 16, № 2–3. – P. 113–144.

REFERENCES

1. Avessalomova I. A. Geochemical indicators in the study of landscapes. – Moskva: Izd-vo Mosk. un-ta, 1978. – 108 p. (In Russian).
2. Vazickij P. Essays on Military Ecology. – Leningrad: Voenizdat, 1989. – 105 p. (In Russian).
3. Vinogradov A. P. Geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils. – Moskva: Izd-vo AN SSSR, 1957. – 238 p. (In Russian).
4. Vorobeva L. A., Rudakova T. A., Lobanova E. A. Heavy metals in the environment. – Moskva: Izd-vo MGU, 1980. – P. 28–34. (In Russian).
5. Geographical map “Landscapes of Oleshkovsky Sands National Nature Park and Adjacent territories” (in digital format, basic scale 1:25 000). A. O. Splodytel. Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir № 69449. Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy. Data reiestratsii 06.10.2016. (In Ukrainian).
6. Geochemistry of the landscape. Manual/N. K. Chertko i dr. – Minsk: BGU, 2011. – 303 p. (In Russian).
7. Environmental chemistry/Yu. E. Saet, B. A. Revich, E. P. Yanin i dr. – Moskva: Nedra, 1990. – 335 p. (In Russian).
8. Dobrovolskij V. V. The geography of trace elements. Global scattering. – Moskva: Mysl, 1983. – 272 p. (In Russian).
9. Zhovinskij Je. Ja. Geochemistry of technogenic metals in the soils of Ukraine. – Kyiv: Nauk. dumka, 2002. – 215 p. (In Russian).
10. Ilin V. B. Heavy metals in the system “soil–plant”. – Novosibirsk: Nauka, 1991. – 150 p. (In Russian).
11. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soils and plants. – Moskva: Mir, 1989. – 439 p. (In Russian).
12. Kosets M. I. Vegetation of the Cossack Camp arena of the Lower Dnieper//Zhurn. In-tu botaniky AN URSR, 1936. – P. 27–191. (In Ukrainian).
13. Malysheva L. L. Geochemistry of landscapes. Tutorial. – Kyiv: Lybid, 2000. – 472 p. (In Ukrainian).
14. Marynych O. M. The scheme of physical-geographical zoning of Ukraine has been improved. – UHZh, 2003. – № 1. – P. 16–20. (In Ukrainian).
15. Perelman A. I. Landscape geochemistry. – Moskva: Vyssh. shk., 1975. – 342 p. (In Russian).
16. Perelman A. I., Kasimov N. S. Landscape geochemistry. – Moskva: Astreja-2000, 1999. – 763 p. (In Russian).
17. Project for the organization of the territory of the Oleshkovski Sands National Park, protection, reproduction and recreational use of its natural complexes and objects. – Pryvatne aktsionerne tovarystvo “Naukovo-vyrobnychiy kompleks “Kurs”. – Kyiv, 2013. – 305 p. (In Ukrainian).
18. Geographic map series: Distribution of heavy metals (Cu, Pb, V) in the modern soil cover (0–5 cm horizon) of Oleshkovski Sands Na-

tional Nature Park and adjacent territories (in digital format, basic scale 1:50 000). I. V. Kuraieva, L. Ju. Sorokina, A. O. Splodytel. Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir № 71505. Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy. Data reiestratsii 19.04.2017. (In Ukrainian).

19. Background content of trace elements in soils of Ukraine/A. I. Fatieiev, Ya. V. Pashchenko. – Kharkiv, 2003. – 71 p. (In Ukrainian).

20. Cottenie A. Plant quality response to the uptake of polluting elements/A. Cottenie, A. Dhaese, R. Camerlynck. Qual. Plantarum, 1976. – V. 26, № 3. – P. 93–319.

21. Sankaran U. K., Phillip S. Heavy metals uptake and accumulation by Typha angustata from Wetlands around thermal power station/Int. J. Ecol and Environ Sci., 1990. – V. 16, № 2–3. – P. 113–144.

Р у к о п и с о т р и м а н о 15.01.2020.



Редакція приймає оригінальні, раніше не опубліковані статті геологічної, геолого-мінералогічної та технічної тематики.

Статті треба надсилати в друкованому (два примірники) й електронному вигляді, бажано українською мовою.

Обсяг однієї наукової статті – до 25 стор. машинопису через 2 інтервали (разом з табл., фото, рис. та підписами до них, бібліографічним списком, анотацією), оглядової – 6–7 стор., інформаційного повідомлення – 3–4 стор.

До рукопису потрібно додати акт експертизи й такі відомості про автора/авторів: прізвище, ім'я та по батькові (повністю); учене звання й учений ступінь; посада чи професія; місце роботи (назва установи чи організації); адреса місця роботи, номер телефону; адреса місця проживання, номер телефону, електронна адреса, ORCID.

До кожної статті обов'язково навести: індекс УДК, анотацію (українською та англійською), бібліографічний список за алфавітом (оформлений відповідно до сучасних вимог), рисунки, таблиці та підписи до них (окремі файли).

Комп'ютерні макети рисунків приймаються в разі дотримання таких умов.

Р а с т р о в а графіка: чорно-біле зображення – *.tif чи *.psd (Adobe PhotoShop); повнокольорове зображення – *.tif, *.eps, *.psd-формат, роздільна здатність 300 dpi. Кольорова модель СМЮК, чорний колір в одному каналі.

В е к т о р н а графіка: файли формату *.ai, *.eps (Adobe Illustrator) чи *.cdr (CorelDraw). Використані шрифти мають бути подані окремо або переведені в криві. Растрову графіку до векторного макета не вносити.

- Редколегія може не поділяти думок автора.
- Автори відповідають за точність викладених фактів, даних, цитат, бібліографічних довідок, написання географічних назв, власних імен, геологічних термінів тощо.

Рішення про публікацію статті в журналі приймається на основі незалежної експертизи, яку організовує редакція журналу.

УДК 550.2:551.24/551.4/523.6

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2020.1.44-47>

В. М. КЛОЧКОВ, член докембрійської секції НСК України, член МТК України, член НРП Держгеонадр, Київ, klochkov9400925@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5077-4202>,

С. В. КЛОЧКОВ, радник міністра енергетики та захисту довкілля України, радник агенції щодо політики мінеральної сировини MinPol (<http://www.minpol.com>), член НРП Держгеонадр, Київ, gmorf@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5369-0573>

V. M. KLOCHKOV, Member of the Precambrian section of the NSC of Ukraine, Member of the ITC of Ukraine, Member of the SEA SSGSU, Kyiv, klochkov9400925@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5077-4202>,

S. V. KLOCHKOV, Advisor to the Minister of Ecology and Natural Resources of Ukraine, Advisor to the CEO of the Mineral Policy Agency MinPol (<http://www.minpol.com>), Member of the SEA SSGSU, Kyiv, gmorf@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5369-0573>

КІЛЬЦЕВІ СТРУКТУРИ ПІВНІЧНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я ЯК СЛІДИ ПЛАНЕТАРНОЇ КАТАСТРОФИ

КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕВЕРНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ КАК СЛЕДЫ ПЛАНЕТАРНОЙ КАТАСТРОФЫ

CIRCULAR STRUCTURES OF THE NORTHERN BLACK SEA REGION A CONSEQUENCE OF A PLANETARY CATASTROPHE

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

У статті сформульовано нове бачення причин формування сучасної структурно-геологічної будови Північного Причорномор'я та акваторії Азовського моря. Висловлено припущення щодо катастрофічних подій, які, ймовірно, мали місце на Північному Причорномор'ї в перм-тріасовий період, а саме приблизно 250 млн років тому. Гігантський астероїд вибухнув (або просто розвалився), коли потрапив у щільні шари атмосфери, а його уламки утворили численні кільцеві структури на Північному Причорномор'ї під час падіння. Можна припустити, що ця космічна катастрофа була провісником знаменитого пермського вимирання наземної біоти.

Згідно з дешифруванням даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) графічно й описово доведено наявність трьох великих кільцевих структур і до 20 малих, які розміщені приблизно по лінії Батайськ-Красноперекопськ-Ізмаїл. Лінія відповідає Північній шовній зоні, яка відокремлює східноєвропейську платформу від скіфської епіорогенної зони. Площа швів була активною приблизно 250 млн років.

Теоретично доведено, що саме інвазивна дія космічного тіла була першопричиною зони розлому, яка в Кіммерії перетворилася на Північну шовну зону.

Використання сучасних даних ДЗЗ дало змогу ідентифікувати великі за розмірами кільцеві структури Північного Причорномор'я – Азовську, Батайську й Каламітську, а також Північну шовну зону, яка відокремлює Східноєвропейську платформу від Скіфської епіорогенної зони.

Зроблено акцент на особливому пошуковому інтересі сегментів Азовської астроблеми в контексті концентрації геологорозвідувальних робіт на вуглеводні. Ретроспективна геологічна інформація засвідчує, що ідентифіковані структури мають чималу глибину залягання, які земна кора має насичувати великою кількістю каналів живлення (декомпресійних зон), сприятливих для міграції вуглеводнів.

Ключові слова: астроблема, Північне Причорномор'я, шовна зона, міграція вуглеводнів, дистанційне зондування Землі.

The paper formulates a new vision of the reasons for the formation of the modern structural-geological appearance of the Northern Black Sea and the offshore area of the Azov Sea. The catastrophic events in the Northern Black Sea, during the Permian-Triassic period, about 250 million years ago, allegedly occurred. Giant asteroid exploded (or just collapsed) when it entered the dense layers of the atmosphere, and its multifarious debris formed numerous circular structures on the Northern Black Sea during the fall. It has suggested that this space catastrophe is the forerunner of the famous Permian extinction of the terrestrial biota.

Graphically and descriptively, it has been proved that approximately along the Bataisk-Krasnoperekopsk-Izmail line, according to the RSD, 3 large circular structures and up to 20 small ones are decoded. It is proved – the line corresponds to the Northern suture zone, which separates the East-European platform from the Scythian epiorogenic zone. The suture area has been active for approximately 250 million years.

It has been theoretically proved that it is the invasive effect of the cosmic body that is the root cause of the fault zone, which in Cimmeria evolved into the Northern suture zone.

Using modern RSD made it possible to identify large circular structures of the Northern Black Sea Region. These are Azov, Bataisk and Kalamitska.

Major research interest in the segments of the Azov astrobleme in the context of the oil and gas exploration work is determined. It is proved by retrospective geological information that the identifying structures have a significant depth of occurrence and here the earth's crust should be saturated with a significant number of supply channels (decompression zones) favorable for hydrocarbon migration.

Keywords: astrobleme, Northern Black Sea region, suture zone, hydrocarbon migration, remote sensing.

65 млн лет отделяют нашу эпоху от момента падения на Землю крупного внеземного объекта, который мог быть как астероидом, так и кометой. В настоящий момент факт такого события практически никем не оспаривается, как и то, что оно произошло на рубеже мелового и палеогенового периодов. Именно к пограничным отложениям мезозоя

и кайнозоя приурочен так называемый “иридиевый” слой, имеющий планетарное распространение [8].

Речь идёт об астероиде диаметром около 10 км, который врезался в побережье полуострова Юкатан (Мексика) у местечка Чиксулуб. Это привело к образованию кратера, имеющего по разным оценкам диаметр около 200 км. Некоторые исследователи допускают, что температура взрыва в момент удара была настолько высокой, что астероид (или

комета) полностью разрушился и испарился. Последствия такого события должны были быть катастрофическими для всего живого на Земле.

Столь обширное вступление мы приводим, конечно же, не напрасно. Как бы фантастически это ни звучало, но аналогичные по масштабам, а, возможно, и более катастрофические события предположительно имели место в Северном Причерноморье. Именно здесь примерно вдоль линии Батайск-Красноперекоск-Измаил по данным ДЗЗ дешифрируются три крупные кольцевые структуры и до 20 мелких (рисунок). По странному совпадению эта линия соответствует Северной шовной зоне, которая отделяет Восточно-Европейскую платформу от Скифской эпиореной зоны [3, 4].

В процессе написания статьи и дешифрирования для максимального эффекта визуализации мы использовали видимые каналы мультиспектральной дистанционной основы LANDSAT 8 разрешения 30 м [7, 9, 10] и данные радарной съемки SRTM4 разрешения 90 м [6].

По данным ГДП-200 [1] мощность Северной шовной зоны, совпадающей с линеаментом Батайск-Красноперекоск-Измаил, который мы идентифицировали, достигает 4-5 км, и с юга она ограничена Тарханкутским глубинным разломом. Есть все основания предполагать, что данная

шовная зона была заложена на завершающей стадии герцинской тектонической эпохи. В киммерии она была перекрыта отложениями Присивашского триас-юрского прогиба. В альпийско-гималайскую эпоху над ней были заложены Каркинитский и Северо-Азовский прогибы. Таким образом, шовная зона была активна на протяжении примерно 250 млн лет. Трудно предположить, что астероидный удар пришёлся на шовную зону, а его трасса совпала с простиранием последней. Скорее всего, именно он и является первопричиной возникновения разломной зоны, которая в Киммерии эволюционировала в шовную зону.

Вышеизложенное позволяет определить время катастрофы в Северном Причерноморье как пермь-триас, около 250 млн лет тому назад. На рубеже палеозоя и мезозоя Земля, возможно, прошла через пояс астероидов, о чём свидетельствует множественность кольцевых структур, их линейная приуроченность. Но это наиболее маловероятная версия. Вряд ли когда-то Земля пересекалась с поясом астероидов, ведь ближайший такой пояс расположен за орбитой Марса. Более вероятным находим другое предположение. Гигантский астероид, войдя в плотные слои атмосферы, взорвался (или просто разрушился), и его разновеликие обломки при падении образовали множественные кольцевые структуры Северного Причерноморья. В

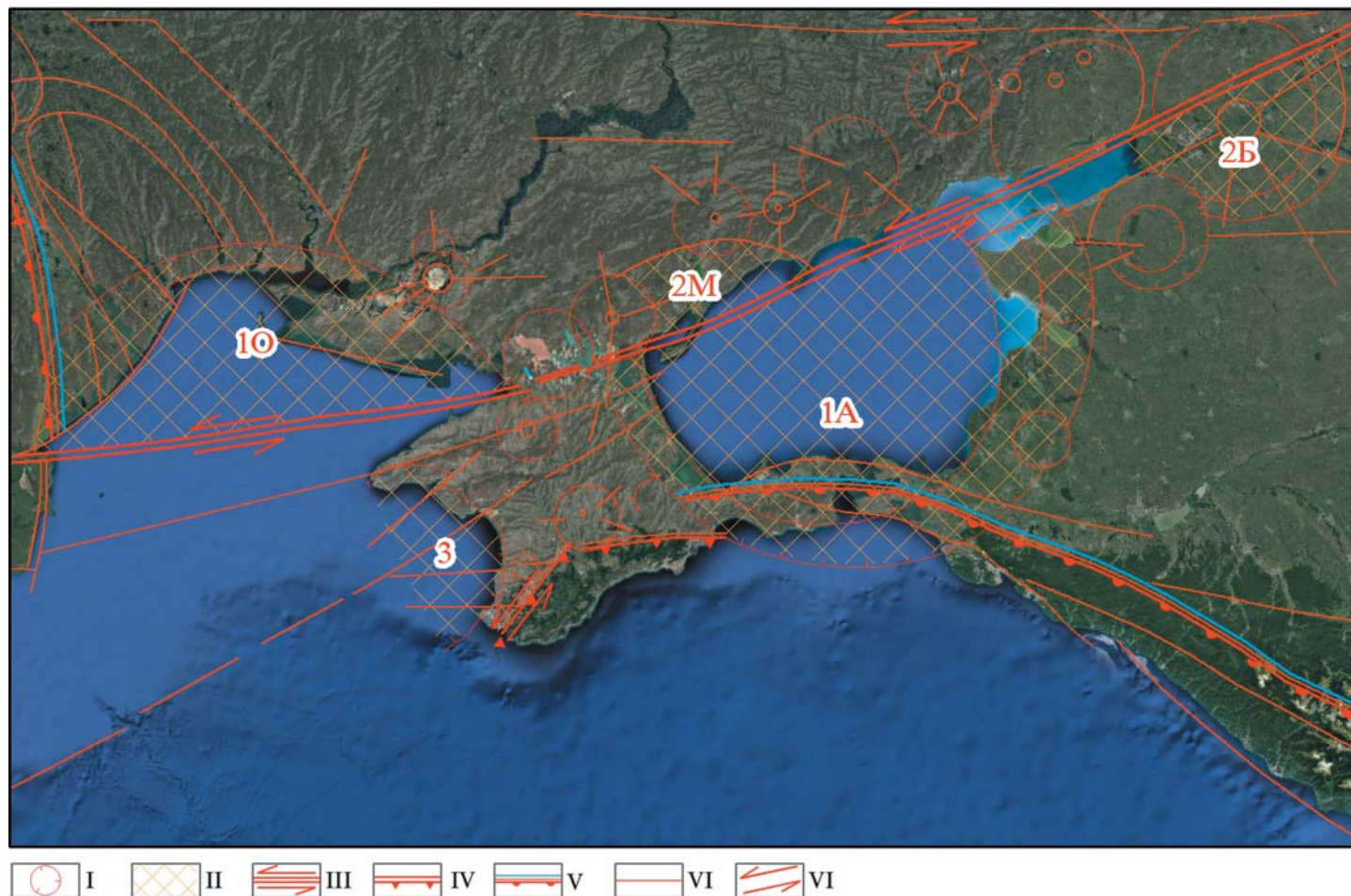


Рисунок. Кольцевые структуры Северного Причерноморья (морфо-кинематическая интерпретация)

Условные обозначения и надписи: I – кольцевые структуры (астроблемы), II – главные кольцевые структуры (астроблемы): 1 – Азовская (1А – Азовский сегмент, 1О – Одесский сегмент), 2 – Батайская (2Б – Батайский сегмент, 2М – Мелитопольский сегмент), 3 – Каламитская; III – Северная шовная зона (сдвиговой морфологии); IV – Шовная зона на границе Горного и Степного Крыма (всбросовой морфологии); V – новейшие (альпийские) разломы фронтально надвиговой морфологии; VI – сопутствующие разломные зоны различной генетической природы; VII – сдвиги

любом случае – это редчайшее явление. Не есть ли эта космическая катастрофа предтечей знаменитого пермского вымирания земной биоты?

Наиболее крупными кольцевыми структурами Северного Причерноморья, которые дешифрируются с большой степенью вероятности, являются Азовская, Батайская и Каламитская, из них Азовская имеет наиболее чёткие признаки существования. Её диаметр превышает 200 км по основному кольцевому линеamentу, то-есть по размерам она сопоставима с Юкотанской астроблемой.

Уникальность Азовской кольцевой структуры в её сложной морфологии. Центральную её часть занимает впадина Азовского моря, имеющая концентрическое строение, которое подчёркивается изобатами 5 и 10 м. По периметру она оконтуривается двумя дуговыми сбросами, которые на юге деформируются альпийского заложения покровными структурами Керченского полуострова. С запада внутренний обвод (сбросовая зона) совпадает с Арабатской стрелкой, а внешний обвод представляет собой, вероятно, также сбросовую зону. Между внешним и внутренним разломами, имеющими правильную дуговую форму, расположено юго-восточное ответвление Сиваша. Совершенно понятно, что оба эти разлома активны и в настоящее время, что подтверждается наличием термальных вод, вскрытых глубокими скважинами на Арабатской стрелке. С востока “астроблема” также оконтурена двумя сбросами, между которыми видны широкие мелководные заливы в устьях рек от Дона до Кубани включительно. В целом для структуры характерны отрицательные формы рельефа. Вдоль северной береговой линии Азовского моря она рассечена разломной зоной, описанной выше. К западу от Сиваша эта зона образует достаточно чёткую трёхлучевую систему. Северный из этих лучей уходит на Измаил и является основным продолжением шовной зоны, вдоль которой северный сегмент “астроблемы” смещён на запад (вероятно, в киммерийскую эпоху тектогенеза) на расстояние порядка 380 км.

Таким образом, шовная зона разделяет астроблему на два сегмента: собственно Азовский и Одесский. Азовский сегмент описан выше. Что касается Одесского сегмента, то он ограничен с севера дуговым разломом, вероятно, сбросового типа. Это подтверждается тем, что к югу от последнего устья рек, впадающих в Чёрное море, имеют широкие лиманы. Последний факт свидетельствует о наличии резко пониженных форм рельефа также и внутри Одесского сегмента. К зоне влияния дугового сегмента здесь также приурочены проявления термальных вод, например, в районе Железного Порты. Восточный фланг разлома сильно деформирован, а западный как бы срезается системой субмеридиональных дуговых разломов альпийского заложения. На восточном фланге Одесского сегмента и вдоль всего северного борта шовной зоны дешифрируются кольцевые структуры диаметром 20–50 км, большинство из которых сопровождается системой радиальных линеamentов.

Возможно предположить, что на протяжении мезо-кайнозоя им были присущи вертикальные знакопеременные движения. К одной из них в нижнем течении реки Днепр приурочен уникальный морфологический феномен – так называемые Алёшкинские пески. Его возникновение, возможно, свидетельствует о восходящем тектоническом потоке внутри кольцевой структуры.

Каламитская кольцевая структура практически полнос-

тью скрыта под водами Чёрного моря. Прослеживается лишь система краевых сбросов восточного фланга структуры вдоль береговой зоны. Характерно, что дуговой сброс разбит системой радиальных разломов (со следами знакопеременных сдвиговых смещений) на отдельные сегменты. В восточном обрамлении Каламитской кольцевой структуры и долине реки Альма отмечаются глыбы и валуны конгломератовидных известняков и туфосланцев пермского возраста [2, 5]. Они погребены в мезозойских отложениях, а их наличие может свидетельствовать о проявлении импактных закратерных выбросов.

Батайская кольцевая структура соизмерима по размерам с Каламитской. Дешифрируется с трудом и неоднозначно. Предположительно её северный сегмент (Мелитопольский) так же, как и Одесский сегмент Азовской кольцевой структуры смещён вдоль шовной зоны на запад на расстояние порядка 380 км. Для Батайской кольцевой структуры характерна система радиальных разломов и, возможно, она значительно более погружена и перекрыта более мощной толщей мезо-кайнозойских отложений.

Мы не ставим задачу описания более мелких кольцевых структур. Все они дешифрированы по классическим признакам, среди которых главным является наличие кольцевых и радиальных линеamentов на данных ДЗЗ. Задача их изучения – дело будущего, также как изучение крупных кольцевых структур: Азовской, Каламитской, Батайской. Отметим лишь, что трёхлучевая система разломов наиболее крупной Азовской кольцевой структуры, как и сама структура, вероятно, сопровождаются зонами повышенной проницаемости на значительную глубину и эти площади могут быть перспективными касательно наличия залежей углеводородов в отложениях поздних герцинид и ранних кимерид, то есть на значительных глубинах.

Изложенный материал является дискуссионным, а наша точка зрения на генетическую природу кольцевых структур обоснована интерпретацией данных ДЗЗ. Для подтверждения этого явления прямыми методами требуется постановка тематических работ. В этой связи данная работа – суть постановки проблемы, решение которой в будущем сулит щедрую отдачу за счет концентрации поисковых усилий в достаточно узкой пространственной плоскости. Отметим, что особый поисковый интерес представляют сегменты Азовской астроблемы и веерообразная трёхлучевая система разломов в пределах северной части Черного моря. Эти структуры имеют значительную глубину заложения и в их пределах земная кора должна быть насыщена значительным количеством подводящих каналов (зоны разуплотнения), благоприятных для миграции углеводородов.

ЛІТЕРАТУРА

1. Державна геологічна карта України. М-б 1:200 000. Кримська серія. Аркуші L-36-XXI (Чорноморське), L-36-XXII (Красноперекіпськ), L-36-XXVII (Руїни Морське). Казенне підприємство “Південекогеоцентр”/Б. П. Чайковський, С. В. Білецький, В. Б. Деев, О. С. Дем’ян, С. І. Краснорудська. – Київ, 2004. – 98 с.
2. Державна геологічна карта України. М-б 1:200 000. Кримська серія. Аркуші L-36-XXVIII (Євпаторія), L-36-XXXIV (Севастополь). Казенне підприємство “Південекогеоцентр”/Б. П. Чайковський, С. В. Білецький, В. Б. Деев, О. С. Дем’ян, С. І. Краснорудська. – Київ, 2006. – 175 с.
3. Тектонічна карта України. М-б 1:1 000 000. Частина 1. Пояснювальна записка/С. С. Круглов, Ю. О. Арсірій, В. Я. Великанов, Т. О. Знаменська, А. М. Лисак, О. Ю. Лукін, І. К. Пашкевич, І. В. Попадюк, А. Я. Радзівілл, А. Б. Холодних. – Київ: УкрДГРІ, 2007. – 96 с.

4. Тектонічна карта України. М-б 1:1 000 000. Частина 2. Тектоніка фундаменту Українського щита (Пояснювальна записка до "Тектонічної карти фундаменту Українського щита" м-бу 1:2 000 000)/ В. П. Кирилюк. – Київ: УкрДГРІ, 2007. – 76 с.

5. Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України. Т. 1: Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України/Гол. ред. П. Ф. Гожик. – К.: Логос, 2013. – 638 с.

6. *Bünzli Marc-André*. (March 2011), Optimizing the display of the Shuttle Radar Terrain Model (SRTM) Digital Elevation Model (DEM), Swiss Mapping standards applied to digital mapping, SHA Specialized Group Water and Environmental Sanitation, Bern.

7. *Roy D. P., Wulder M. A., Loveland T. R., Woodcock C. E., Allen R. G., Anderson M. C., Helder D., Irons J. R. etc.* Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research, Remote Sensing of Environment 145 (2014) 154–172.

8. *Toon O. B., Zahnle K., Morrison D., Turco R. P., Covey C.* Environmental perturbations caused by the impacts of asteroids and comets// Reviews of Geophysics. – 1997. – Vol. 35. – Iss. 1. – P. 41–78.

9. *Tri Dev Acharya, Intae Yang.* Exploring Landsat 8, International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research (IJIEASR) ISSN: 2319-4413, vol. 4, No 4, April 2015.

10. *Vermote E. F., Kotchenova S.* (2008). Atmospheric correction for the monitoring of land surfaces. – Journal of Geophysical Research, 113, D23S90.

REFERENCES

1. State geological map of Ukraine. Scale 1:200 000. Crimean series. Sheets L-36-XXI (Chornomorske), L-36-XXII (Krasnoperekopsk), L-36-XXVII (Ruiny Morske). State-owned enterprise "Pivdenekoheotsentr"/B. P. Chaikovskiy, S. V. Biletskyi, V. B. Dieiev, O. S. Demian, S. I. Krasnorudsk. – Kyiv, 2004. – 98 p. (In Ukrainian).

2. State geological map of Ukraine. Scale 1:200 000. Crimean Series. Sheets L-36-XXVIII (Yevpatoriia), L-36-XXXIV (Sevastopol). State-owned enterprise "Pivdenekoheotsentr"/B. P. Chaikovskiy, S. V. Biletskyi, V. B. Dieiev, O. S. Demian, S. I. Krasnorudsk. – Kyiv, 2006. – 175 p. (In Ukrainian).

3. Tectonic map of Ukraine. Scale 1:1 000 000. Part I. Explanatory note/S. S. Kruhlov, Yu. O. Arsirii, V. Ya. Velikanov, T. O. Znamenska, A. M. Lysak, O. Yu. Lukin, I. K. Pashkevych, I. V. Popadiuk, A. Ya. Radzivil, A. B. Holodnykh. – Kyiv: UkrDHRI, 2007. – 96 p. (In Ukrainian).

4. Tectonic map of Ukraine. Scale 1:1 000 000. Part 2. Tectonics of Basement of the Ukrainian shield (Explanatory note to the "Tectonic map of Basement of the Ukrainian shield" of scale 1:2 000 000)/V. P. Kyrylyuk. – Kyiv: UkrDHRI, 2007. – 76 p. (In Ukrainian).

5. Stratigraphy of the upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine. Volume 1: Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine/ch. ed. P. F. Hozhyk. – Kyiv: Lohos, 2013. – 638 p. (In Ukrainian).

6. *Bünzli Marc-André* (March 2011), Optimizing the display of the Shuttle Radar Terrain Model (SRTM) Digital Elevation Model (DEM), Swiss Mapping standards applied to digital mapping, SHA Specialized Group Water and Environmental Sanitation, Bern.

7. *Roy D. P., Wulder M. A., Loveland T. R., Woodcock C. E., Allen R. G., Anderson M. C., Helder D., Irons J. R. etc.* Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research, Remote Sensing of Environment 145 (2014) 154–172.

8. *Toon O. B., Zahnle K., Morrison D., Turco R. P., Covey C.* Environmental perturbations caused by the impacts of asteroids and comets// Reviews of Geophysics. – 1997. – Vol. 35. – Iss. 1. – P. 41–78.

9. *Tri Dev Acharya, Intae Yang.* Exploring Landsat 8, International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research (IJIEASR) ISSN: 2319-4413, vol. 4, No 4, April 2015.

10. *Vermote E. F., Kotchenova S.* (2008). Atmospheric correction for the monitoring of land surfaces. – Journal of Geophysical Research, 113, D23S90.

Рукопис отримано 27.11.2019.

КАТАЛОГ ВИДАНЬ УКРАЇНИ

ПРЕСА ПОШТОЮ

Шановні читачі!

Державне підприємство з розповсюдження періодичних видань «Преса» повідомляє, що триває передплата на періодичні видання України на 2020 рік.

Передплату можна оформити за «Каталогом видань України «Преса поштою»:

- на сайті ДП «Преса» www.presa.ua;
- на сайті ПАТ «Укрпошта» www.ukrposhta.ua;
- у відділеннях поштового зв'язку;
- в операційних залах поштамтів;
- у пунктах приймання передплати.

2020 РІК

НАУКОВІЙ ЖУРНАЛ

МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ

Колектив журналу нагадує авторам і читачам, що триває передплата на журнал МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ на II півріччя 2020 р.

Передплатний індекс за Каталогом періодичних видань України – **48336**

УДК 622.245.42

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2020.1.48-51>

В. М. ОРЛОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова), svaroh13@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8749-5354>

V. ORLOVSKYI, PhD, associate professor (O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine), svaroh13@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8749-5354>

ОБВАЖНЕНІ ТАМПОНАЖНІ МАТЕРІАЛИ

HEAVY CEMENT MATERIALS

Зактуалізовано проблеми створення тампонажних матеріалів і розчинів підвищеної густини.

Проаналізовано наукові джерела в галузі розроблення й дослідження модифікованих тампонажних матеріалів з підвищеною густиною. Розглянуто застосування різних типів обважнювальних домішок для виготовлення тампонажних цементів. Указано на переваги й вади обважнювальних матеріалів, які застосовують під час модифікації тампонажних цементів. Наведено технологічні схеми найпоширеніших способів створення обважнених тампонажних матеріалів.

Досліджено асортимент обважнених тампонажних матеріалів, які виготовляє промисловість України.

Зауважено, що підвищення якості розмежування гірських порід і нафтогазоносних горизонтів на геологорозвідувальних площах і промислових родовищах під час цементування високонапірних пластів і зон з аномально високими пластовими тисками можливе завдяки розробленню й застосуванню обважнених термостійких тампонажних матеріалів з високими технологічними властивостями на основі золових сумішей, а також сумішей стандартного тампонажного портландцементу ПЦП-100 і кислоти золи винесення теплових електростанцій та обважнювача бариту.

Розроблено й досліджено обважені термостійкі тампонажні матеріали з високими експлуатаційними властивостями із застосуванням побічних техногенних продуктів промисловості.

Дібрано оптимальні рецептури нових обважнених тампонажних матеріалів.

Результати роботи мають практичне значення для цементування нафтових і газових свердловин у складних гірничо-геологічних умовах на геологорозвідувальних площах та промислових родовищах вуглеводнів.

Ключові слова: обважнені тампонажні матеріали, термостійкість, густина, водовідділення, міцність каменю.

Emphasis is placed on the urgency of the problem of creating cementitious materials and solutions of high density.

The analysis of scientific sources in the field of development and research of modified cement materials with high density is carried out. The application of different types of weighting impurities to well cements is considered. The advantages and disadvantages of the weighting impurities that are used in the modification of well cements are shown. The technological schemes of the most widespread ways of creation of the weighted cement materials are resulted.

The assortment of weighted cement materials manufactured by the Ukrainian industry is analyzed.

It is noted that improving the quality of the delineation of rocks and oil and gas horizons in exploration areas and industrial fields during the cementing of high-pressure layers and zones with abnormally high reservoir pressures is possible by the development possible and application of weighted heat-resistant cements with high technological properties on the basis of ash mixtures, as well as mixtures of standard well Portland cement PTSTI-100 and acidic ash removal of thermal power plants and barite weighing agent.

Weighted and heat-resistant grouting materials with high performance properties with the use of industrial anthropogenic products have been developed and investigated.

The selection of optimal recipes of new weighted cement materials was carried out.

The results of the work have practical application in cementing oil and gas wells in complex mining and geological conditions in exploration areas and industrial hydrocarbon deposits.

Keywords: heavy cement material, heat resistance, density, water separation, stone strength.

Вступ. В останні роки збільшилася кількість родовищ, які розбурюють у складних гірничо-геологічних умовах. Водночас вимоги до тампонажних матеріалів, які застосовують для цементування глибоких нафтових і газових свердловин, стають жорсткішими. Особливо це стосується цементів, призначених для кріплення свердловин у відкладах з аномально високими пластовими тисками (АВІПТ) на глибинах 4000–6000 м. Крім того, на глибинах 4000 м і більших пластові температури набагато перевищують 100 °С. Тому актуальною є проблема створення тампонажних матеріалів і розчинів підвищеної густини: обважнених (густина тампонажних розчинів $\leq 1950 \div \geq 2300$ кг/м³) і важких (густина ≤ 2300 кг/м³) з високими експлуатаційними властивостями.

Обважені й важкі тампонажні матеріали належать до модифікованих цементів. З аналізу наукових джерел відомо, що є чотири найпоширеніші способи обважнення тампонажних матеріалів [1, 2]:

1) введення обважнювачів унаслідок змішування їх зі зв'язувальним матеріалом;

2) застосування рудних цементів, густина яких набагато більша, ніж звичайних портландцементів;

3) спільний помел клінкеру й обважнювальних домішок;

4) збільшення вмісту оксиду заліза в портландцементі.

Найширший діапазон регулювання густини можна одержати за допомогою першого з названих способів.

Залежно від основи мінерала обважнювачі поділяють на баритові (барит BaSO₄, густиною 4480 кг/м³), залізні (гематит Fe₂O₃, густиною 5300 кг/м³; магнетит FeO·Fe₂O₃, густиною 4900–5200 кг/м³), магнетитовий пісок (хімічний склад у масових відсотках: SiO₂ – 31,43; Fe₂O₃ – 49,00; CaO – 11,25; MgO – 7,13; MnO – 0,98; втрати під час прожарювання – 0,21; зернистість 0,3–0,4 мм; густина 3900–3920 кг/м³), ільменіт (титановий залізняк FeO·TiO₂, густиною 4720 кг/м³), карбонатні (сидерит FeCO₃ з густиною 3800 кг/м³), олив'яні (галеніт PbS, густиною 7500 кг/м³), олив'яний шлак (хімічний склад у масових відсотках: SiO₂ – 34,0; Al₂O₃ – 1,5; FeO – 40,5; CaO – 21,0; MgO – 1,0; густина 3800–3900 кг/м³), феросплави (феросиліцій густиною 6520 кг/м³, дзеркальний чавун, силікошпигель – спеціальні сплави чавуну, подрібнені до розмірів частинок 0,15–0,20 мм, до складу яких входять залізо, вуглець, кремній, марганець, хром та інші легувальні матеріали), кварцовий пісок (розміри зерен 0,1–0,6 мм, густина 2600–2670 кг/м³).

Основні дослідження і публікації. Обважені тампонажні матеріали характеризуються зниженим водо-цементним від-

ношенням, унаслідок чого вони зазвичай мають низьку розтічність. Тому в таких розчинах додатково застосовують реагенти-сповільнювачі й пластифікатори: ССБ, КССБ, СВК, ВКК, гіпан, хромпик, оксил тощо. Крім того, композиції з використанням обважнювальних домішок мають нестабільні й седиментаційно нестійкі тампонажні розчини. Це ускладнює процес їхнього приготування й суттєво впливає на якість цементування свердловин [1, 3].

Досліджено властивості обважнених тампонажних матеріалів на основі портландцементу з домішками різних обважнювачів (гематит, магнетит, феросиліцій, дзеркальний чавун, ферофосфор) у температурних умовах 90 °С [4]. У разі домішування гематиту інтервали густин тампонажних розчинів перебувають у межах 1980–2200 кг/м³, у разі домішування ферофосфору – 2110–2890 кг/м³. Механічна міцність зразків цементного каменю через дві доби тужавіння становить 1,4–4,3 МПа.

У науковій розробці [3] як обважнювач застосовано продукт випалювання твердого залишку содового виробництва й піритних недогарків 2СаО·Fe₂O₃. У суміші з піском одержали тампонажні розчини густиною до 2360 кг/м³ з високою міцністю і термостійкістю утвореного каменю.

Автори праці [5] пропонують для підвищення густини використовувати технічний барит, який має високу дисперсність і гідрофільність. У буровій галузі використовують переважно баритові концентрати виробництва збагачувальних фабрик кольорової металургії. У них міститься 80–95 % бариту, а також SiO₂, Fe₂O₃ і незначна кількість сполук кальцію та магнію. Суміші з баритом призначені для цементування свердловин з АВПТ (градієнт тиску до 0,21 МПа/м). За вибійних температур 20–100 °С рекомендовані суміші – цемент-барит (співвідношення компонентів 2:1, 1:1), за температур 100–200 °С – металургійний шлак-барит (2:1, 1:1). Густина розчинів змінюється в межах 2000–2180 кг/м³. Міцність цементно-баритових речовин через дві доби тужавіння, залежно від температури, становить 2,32–8,2 МПа, газопроникність – 1,0–2,5 мД.

У шлако-баритових рецептур ці показники мають такий вигляд: 1,6–4,5 МПа, 1,0–3,2 мД відповідно. Терміни прокачування тампонажних розчинів регулюють реагентом-сповільнювачем НТФК.

Зі шлаків олив'яних заводів (наприклад Чимкентського заводу) можна одержати без домішок обважнювача тампонажні розчини густиною 2160–2230 кг/м³ [6]. Гідравлічна активність у таких шлаків нижча, ніж у гранульованих доменних шлаків, тому в разі їхнього застосування в умовах температур, нижчих за 200 °С, для пришвидшення тужавлення до складу зв'язувальної речовини треба вводити скальциновану соду або портландцемент. Температурний інтервал застосування цих шлаків становить 80–180 °С. Для підвищення міцності таких матеріалів до 6–12 МПа автори пропонують вводити в розчин бікарбонат натрію.

У 1980 роках у Всесоюзному науково-дослідному інституті з кріплення свердловин і бурових розчинів Міннафтопрому СРСР розроблено обважнений безклінкерний корозійно стійкий тампонажний цемент ЦТУК-120 [7]. Його одержують змішуванням бариту зі спільно подрібненим доменним шлаком, кварцовим піском, парафіном. Густина ЦТУК-120 становить від 2050 до 2300 кг/м³, температура застосування – 80–150 °С. Міцність через одну добу твердіння за температури 120 °С сягає 2,5–4,5 МПа.

Для ізоляції соленосних відкладів у свердловинах розроблено тампонажний розчин з високою густиною на основі УШЦ-2-200, бариту, фенолформальдегідного поліконденсату ВРП-31 [8]. Тампонажний розчин на основі цього матеріалу

рекомендовано використовувати за температур 160–250 °С. Фенолформальдегідний конденсат відіграє роль пластифікатора, що дає змогу довести гуστину до 2300–2500 кг/м³.

У науковій розробці [9] запропоновано спосіб одержання обважненого тампонажного матеріалу, що передбачає введення волокнуватої домішки в розтоплений шлак витоплення олива з наступним охолодженням і подрібненням суміші. Речовина має високі фізико-механічні показники, термо- і корозійну стійкість.

Описані вище обважнені тампонажні речовини поряд з перевагами мають і суттєві вади.

1. Зазвичай типи застосовуваних цементів придатні лише для вузького інтервалу температур.

2. Високотемпературні обважнені цементи вміщують шлак, який треба попередньо розмелювати, що дуже енерговитратно.

3. Уміст обважнювачів з високою густиною спричинює розширення тампонажного розчину, а відтак осідання утвореного каменю. Як наслідок – поганий контакт зі стінками свердловини й велика ймовірність неякісної ізоляції затрубного простору.

Зважаючи на ці вади, можна сформулювати основні вимоги до обважнених тампонажних матеріалів (ОВТМ).

1. Седиментаційна стійкість, здатність затверділої системи не осідати.

2. Наявність достатньої кількості інгредієнтів, які використовують для приготування ОВТМ. Компоненти ОВТМ мають бути готові до застосування без додаткового приготування (розмелювання, сушіння тощо).

3. Можливість регулювання густини в широких межах.

Мета. Підвищення якості розмежування гірських порід і нафтогазоносних горизонтів на геологорозвідувальних площах та промислових родовищах під час цементування високонапірних пластів і зон з АВПТ через розроблення й застосування обважнених термостійких неосідних тампонажних матеріалів з високими технологічними властивостями на основі золотих сумішей (висококальцієвої золи Прибалтійських сланців і кислої золи винесення теплових електростанцій (ТЕС)), а також стандартного тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 і кислої золи винесення ТЕС та обважнювача бариту.

Постановка завдання. Нині в Україні Костянтинівський ВАТ “Завод обважнювачів” виготовляє обважнені тампонажні цементи на основі тампонажного портландцементу й металургійного шлаку з використанням як обважнювальних домішок кварцового піску й залізної руди. Серед них цементи: УШЦ-1-120, УШЦ-2-120, УШЦ-1-200, УШЦ-2-200.

Обважнені шлакові тампонажні цементи УШЦ-1-120, УШЦ-2-120, УШЦ-1-200, УШЦ-2-200 одержують унаслідок спільного помелу не менш як 25 % шламу доменного гранульованого за ГОСТ 3476, не більше ніж 75 % обважнювальних домішок – руди залізної за ТУ-14-9-359-89 або інших обважнювачів густиною не менш як 4000 кг/м³, не більше ніж 20 % портландцементу тампонажного для помірних температур марок ПЦТ-I-100 чи ПЦТ-II-100 за ДСТУ БВ.2.7-88-99 або будівельного портландцементу згідно з ДСТУ БВ.2.7-44-96 марки 400 і вище. Такі цементи призначені для цементування нафтових і газових свердловин з АВПТ в інтервалі температур 80–250 °С [1].

Проте обважнені розчини на основі цементів, які виготовляє Костянтинівський ВАТ “Завод обважнювачів”, седиментаційно нестабільні, мають високий показник водовідділення, низьку розтічність і не охоплюють усього діапазону густин, потрібного для цементування свердловин з АВПТ, а камінь має низьку міцність на згин. Це призводить до істотних ускладнень і зниження якості цементування [1]. Крім того, під час твердіння таких цементів утворюється камінь, що осідає.

У практиці цементування свердловин іноді застосовують спеціально приготовлені в умовах бурових майданчиків обважені тампонажні розчини на основі тампонажних портландцементів чи шлакопортландцементів з використанням обважнювачів різних типів. Застосовують тампонажні суміші цементно-баритові, шлако-баритові, УШЦ–2–120 з баритом, портландцемент із залізною рудою, портландцемент з гематитом, шлакорудні та інші розчини [1]. Суттєвою вадою таких тампонажних матеріалів є осідання цементного каменю під час твердіння.

З огляду на вищесказане, дослідження мають на меті розробити обважені термостійкі тампонажні матеріали з високими технологічними властивостями для застосування під час цементування високонапірних пластів у свердловинах, а також у зонах з АВПТ.

Виклад основного матеріалу й результати. Колектив дослідників на базі Полтавського відділення УкрДГРІ розробив рецептури обважнених термостійких неосідних тампонажних матеріалів з високими технологічними властивостями. За основу зв'язувального матеріалу брали золів суміші (висококальцієвої золи від спалювання прибалтійських сланців на ТЕС, яка вміщує активний гідроксид кальцію, і кислій золи винесення від спалювання кам'яного вугілля на ТЕС, яка містить багато кремнезему). Також як зв'язувальний матеріал використано суміш тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 з кислотою золою винесення ТЕС.

Висококальцієва зола прибалтійських (естонських) сланців являє собою порошок світло-жовтого кольору густиною 2800–2950 кг/м³. Є два типи золи: циклонна й електрофільтрова. Питома поверхня циклонної становить 80–110 м²/кг, електрофільтрової приблизно вчетверо більша.

Хімічний склад циклонної золи: CaO – 40–45 % (з них вільної CaO – 12–20 %); SiO₂ – 26–28 %; Al₂O₃ – 6–8 %; Fe₂O₃ – 4,5–5,0 %; MgO – 4–5 %.

Хімічний склад електрофільтрової золи: CaO – 30–33 % (з них вільної CaO – 6,5–7,0 %); SiO₂ – 30–32 %; Al₂O₃ – 7–8 %; Fe₂O₃ – 4,0–4,5 %; MgO – 4–4,5 %. Зазвичай постачають суміш циклонної й електрофільтрової золи, тому можливе деяке коливання її властивостей.

Кислу золу винесення теплових електростанцій застосовують як активну мінеральну (пуцоланову) домішку.

Зола Курахівської ТЕС – це порошок темно-сірого кольору густиною 1980–2000 кг/м³, з питомою поверхнею 350–420 м²/кг. Її насипна маса становить 1100–1150 кг/м³. Хімічний склад золи: SiO₂ – 52–54 %; Al₂O₃ – 15–24 %; Fe₂O₃ – 17–22 %; CaO – 2,2–6,0 %.

Зола Ладизинської ТЕС являє собою порошок зеленувато-сірого кольору, густиною 2400–2500 кг/м³, питомою поверхнею 210–220 м²/кг. Її насипна маса становить 1500–1600 кг/м³. Хімічний склад золи: SiO₂ – 57 %; Al₂O₃ – 23 %; Fe₂O₃ – 11 %; CaO – 2,0 %; MgO – 2,0 %.

З порівняння властивостей цих двох кислих зол виходить, що для створення обважнених складів більше підходить зола Ладизинської ТЕС, яка має вищу густина. Це дає змогу в деяких випадках (коли потрібна густина тампонажного розчину до 2000 кг/м³) навіть відмовитися від обважнювача, використавши суміш висококальцієвої та кислій (Ладизинської) золи з малим водосумішневим відношенням і застосуванням пластифікатора.

Як обважнювач брали барит (BaSO₄), який за своєю дисперсністю та гідрофільністю перевершує гематит, магнезит, геленіт. Барит являє собою звичайно світло-сірий порошок (інколи через наявність домішок може мати рожевий, червонуватий, жовтий або бурий колір). Густина коливається в межах 4200–4700 кг/м³. Уміщує до 10–15 % кремнезему й

оксиду заліза. Насипна маса змінюється від 1900 кг/м³ в пухкому стані до 3000 кг/м³ під час струшування.

За результатами попередніх експериментів у разі змішування висококальцієвої й кислій золи винесення, а також бариту можна досягти бажаного результату.

Тампонажні розчини в лабораторних умовах готували стандартним методом із замішуванням на водопровідній воді.

Водосумішнєве відношення підбирали з огляду на розтічність на конусі розтічності. Седиментаційну стійкість і водовідділення визначали за методиками, описаними в праці [2]. Прокачуваність тампонажних розчинів досліджували на консистометрі КЦ-3.

Вимірювання об'ємних деформацій тампонажного матеріалу під час тужавіння проводили за допомогою приставки до консистометра КЦ-3 [10].

Зразки тампонажного каменю зберігали в автоклавному пристрої АУ-1-71-ІЕ (конструкції Полтавського відділення УкрДГРІ), що складається з автоклавів, електричної та гідравлічної обв'язки, вимірювальних і реєструвальних приладів для контролю температури й тиску в автоклавах. Пристрій призначений для температури до 250 °С і тиску до 100 МПа. Контролювання параметрів відбувається в автоматичному режимі.

Зразки виготовляли у формі циліндрів з діаметром та заввишки 0,03 м і балочок розміром 0,04×0,04×0,10 м. Під час тужавіння в нормальних умовах (температура 20 °С, тиск 0,1 МПа) зразки зберігали у водяних банях.

Механічну міцність на згин і коефіцієнт стиснення визначали за типовими методиками [11].

Технологічні властивості одержаних обважнених тампонажних матеріалів наведено в табл. 1 і 2.

За своїми експлуатаційними властивостями (у разі їхнього комплексного розгляду) розроблені обважені тампонажні матеріали переважають усі відомі обважені тампонажні цементи. Вони якісно вирізняються за термостійкістю, високою міцністю й низькою проникністю, широким діапазоном густин, а також тим, що не осідають (не розширюються в процесі тужавіння в зольних рецептурах). Для забезпечення якісної ізоляції затрубного простору в інтервалах залягання хемогенних відкладів ефективним є застосування розроблених рецептур, замішаних на насичених розчинах КСІ. Промислове випробування обважнених тампонажних матеріалів пройшли під час цементування експлуатаційних колон в об'єднанні “Полтавнафтогазгеологія” і забезпечили високу якість кріплення в зонах АВПТ.

Висновки. Розроблено обважені термостійкі неосідні тампонажні матеріали з високими експлуатаційними властивостями густиною 1950–2270 кг/м³ на основі цементно-золових і золових сумішей та обважнювача.

З'ясовано, що тампонажні розчини з обважнених тампонажних матеріалів відповідають чинним ДСТУ до модифікованих тампонажних цементів.

Термічний інтервал застосування обважнених тампонажних матеріалів – 50 °С÷160 °С.

Наукова цінність дослідження полягає в доборі оптимальних рецептур нових обважнених тампонажних сумішей.

Розглянута наукова розробка дає змогу забезпечити галузь обважненими термостійкими тампонажними матеріалами з високими експлуатаційними властивостями, що має важливе практичне значення. Підвищена густина нових тампонажних розчинів, у разі забезпечення високої якості інших технологічних властивостей розчину й утвореного каменю, є важливим чинником під час розмежування нафтогазоносних горизонтів на геологорозвідувальних площах і промислових родовищах у процесі цементування високонапірних пластів і свердловин з аномально високими пластовими тисками.

Таблиця 1. Технологічні властивості тампонажних розчинів на основі обважнених термостійких тампонажних матеріалів

Склад тампонажної суміші, мас. част., %					Рідина замішування	Пластифікатор С-3, від маси сухого матеріалу, %	В/С	Розтічність, м	Густина, кг/м³	Водовідділення, мл
ПШТІ-100	Висококальцева зола (естонська)	Кисла зола (ладжінська)	Кисла зола (курахівська)	Барит						
–	20	–	20	60	вода	2	0,28	0,19	2110	12,5
–	30	–	10	60	вода	1	0,28	0,20	2150	15,0
–	25	–	25	50	вода	2	0,28	0,18	2040	7,5
–	25	25	–	50	вода	1	0,25	0,20	2190	12,5
–	20	20	–	60	вода	1	0,23	0,20	2270	15,0
–	30	30	–	40	вода	2	0,22	0,19	2140	7,5
25	–	–	25	50	вода	1	0,30	0,20	2040	15,0
50	–	50	–	–	насич. р. КСІ	2	0,28	0,20	1970	0
–	25	25	–	50	насич. р. КСІ	1	0,25	0,18	2230	0
–	25	–	25	50	насич. р. КСІ	1	0,33	0,19	1950	2,5
25	–	–	25	50	насич. р. КСІ	1	0,30	0,19	2050	2,5

Таблиця 2. Технологічні властивості обважнених термостійких тампонажних матеріалів

Склад тампонажної суміші, мас. част., %						В/С	Міцність каменю через дві доби в разі згинання/стиснення, МПа				Газопроникність через дві доби, мкм²·10 ⁻³	
ПШТІ-100	Висококаль- цева зола (естонська)	Кисла зола (ладжінська)	Кисла зола (курахівська)	Барит	Умови тужавіння цементу							
					t = 120 °C P = 40,0 МПа		t = 160 °C P = 60,0 МПа		t = 120 °C P = 40,0 МПа	t = 160 °C P = 60,0 МПа		
					дві доби		28 діб	дві доби			28 діб	
–	20	–	20	60	0,28	1,0/2,3	2,5/4,5	1,6/3,0	3,6/7,5	2,10	1,36	
–	25	–	25	50	0,28	1,8/3,1	3,3/6,2	1,7/3,3	5,7/12,5	1,17	1,14	
–	25	25	–	50	0,25	1,0/2,1	2,7/4,3	3,3/6,3	5,0/9,6	1,98	1,36	
–	20	20	–	60	0,23	0,8/1,7	2,0/4,0	2,1/4,4	4,5/8,7	–	–	
25	–	–	25	50	0,30	6,8/16,0	9,0/21,0	–	–	1,35	–	
50	–	50	–	–	0,28*	5,4/10,0	9,0/18,3	–	–	0,75	–	
–	25	25	–	50	0,25*	1,5/3,5	3,8/8,9	3,4/7,4	5,1/11,0	2,40	2,12	
–	25	–	25	50	0,33*	1,7/4,0	4,3/9,0	2,3/4,8	3,8/7,5	2,50	1,81	

Примітка: * рідина замішування – насичений розчин КСІ

ЛІТЕРАТУРА

- Горський В. Ф. Тампонажні матеріали і розчини/В. Ф. Горський. – Чернівці, 2006. – 524 с.
- Данюшевський В. С. Справочное руководство по тампонажным материалам: [справочник]/В. С. Данюшевский, Р. М. Алиев, И. Ф. Толстых. – Москва: Недра, 1987. – 376 с.
- А. с. 1596072 СССР, МКИ Е 21 В/138. Тампонажный состав/З. З. Шарафутдинов, Ф. А. Акзамов, В. В. Васильев и др. (СССР). – Био и ТЗ (Бюллетень изобретений, открытый и товарных знаков). – 1990. – № 36.
- Булатов А. И. Тампонажные материалы и технология цементирования скважин/А. И. Булатов. – Москва: Недра, 1982. – 256 с.
- Булатов А. И. Тампонажные материалы/А. И. Булатов, В. С. Данюшевский. – Москва: Недра, 1987. – 280 с.
- Булатов А. И. Утяжеленные тампонажные растворы на основе шлака/А. И. Булатов, Ш. М. Рахимбаев, Д. Ф. Новохатский, Т. Т. Ганиев/Серия "Бурение": НТС. – Москва: ВНИИОЭНГ, 1974. – Вып. 4.
- Трусов С. Б. Современное состояние и перспективы в области тампонажных цементов/С. Б. Трусов//Формирование и работа цементного камня в скважине: тезисы докладов IV конференции. – Краснодар, 1987. – С. 23–25.
- Парлиев С. К. О полиминеральной структуре камня тампонажного раствора высокой плотности/С. К. Парлиев, А. В. Тартышный, Ш. К. Абдуллаев, Д. К. Мамадженов//Формирование и работа цементного камня в скважине: тезисы докладов IV конференции. – Краснодар, 1987. – С. 25–27.
- А. с. № 1411313 СССР, МКИ Е 21 В/138. Способ получения утяжеленного тампонажного вяжущего / С. М. Баш (СССР). – Био и ТЗ. – 1988. – № 15.
- А. с. СССР № 724691 МКИ Е 21 В 33/138. Устройство для определения линейных изменений твердеющей системы/Ш. М. Рахимбаев, Ш. Т. Файзиев, Ю. Т. Кадыров, Н. Х. Каримов, В. И. Петерс (СССР). – № 2132542/20-03; заявл. 11.05.79; опубл. 18.03.80, Бюл. № 12.
- ДСТУ Б В.2.7-86-99. Цементи тампонажні. Методи випробувань. – К., 1999. – 24 с.

REFERENCES

- Horskyi V. F. Cement materials and mortars/V. F. Horskyi. – Chernivtsi, 2006. – 524 p. (In Ukrainian).
- Danyushevskiy V. S. Grouting Materials Reference: [reference book]/V. S. Danyushevskiy, R. M. Aliev, I. F. Tolstykh. – Moskva: Nedra, 1987. – 376 p. (In Russian).
- A. s. USSR 1596072, MKI E 21 B/138. Cement composition/Z. Z. Sharafutdinov, F. A. Akzamov, V. V. Vasilev et al (USSR). – Bio and TK. – 1990. – No 36. (In Russian).
- Bulatov A. I. Cement materials and technology of cementing wells/A. I. Bulatov. – Moskva: Nedra, 1982. – 256 p. (In Russian).
- Bulatov A. I. Cement materials/A. I. Bulatov, V. S. Danyushevskiy. – Moskva: Nedra, 1987. – 280 p. (In Russian).
- Bulatov A. I. Weighted grouting solutions based on slag/A. I. Bulatov, Sh. M. Rahimbaev, D. F. Novohatskiy, T. T. Ganiev/Seriya "Burenie": NTS. – Moskva: VNIIOJENG, 1974. – Iss. 4. (In Russian).
- Trusov S. B. Modern state and prospects in the field of cement for wells/S. B. Trusov/Formirovanie i rabota cementnogo kamnya v skvazhine: tezisy dokladov IV konferencii. – Krasnodar, 1987. – P. 23–25. (In Russian).
- Parliev S. K. On the polymineral structure of the stone of a high density /S. K. Parliev, A. V. Tartyshnyy, Sh. K. Abdullaev, D. K. Mamadzhenov/Formirovanie i rabota cementnogo kamnya v skvazhine: tezisy dokladov IV konferencii. – Krasnodar, 1987. – P. 25–27. (In Russian).
- A. s. No 1411313 USSR, MKI E 21 B/138. A method for obtaining a heavier sheath knitting/S. M. Bash (USSR). – Bio and TP. – 1988. – № 15. (In Russian).
- A. s. USSR No 724691 MKI E 21 V 33/138. A device for determining linear changes of the hardening system/Sh. M. Rahimbaev, Sh. T. Faiziev, Yu. T. Kadyrov, N. H. Karimov, V. I. Peters (USSR). – No 2132542/20-03; stated. May 11, 1997; published March 18, 1980, Bull. No 12. (In Russian).
- DSTU B V.2.7-86-99. Cements for wells. Test methods. – Kyiv, 1999. – 24 p. (In Ukrainian).

Рукопис отримано 21.07.2019.



Геофорум 2020

Шановні Колеги!

Упродовж багатьох років Український державний геологорозвідувальний інститут збирав фахівців геологічної галузі в місті Одеса на Міжнародний геологічний форум (ГЕОФОРУМ). Це стало визначною традицією та місцем зустрічі науковців і представників науково-виробничих організацій з різних регіонів України, які переймаються проблемами геологічної галузі. Оргкомітет Геофоруму щиро дякує всім, хто цей тривалий час підтримував нас.

Цього року у зв'язку з надзвичайною ситуацією, що склалася у світі й Україні, зокрема, через поширення COVID-19, УкрДГРІ не зможе провести VII Міжнародний геологічний форум «Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво (ГЕОФОРУМ-2020)» у заплановані дати в червні місяці й переносить захід на кінець 2020 року, про що докладніше повідомить згодом. Кінцевий термін прийняття тез доповідей учасників ГЕОФОРУМУ продовжено до 1 серпня 2020 року включно. Всі отримані тези доповідей буде надруковано в збірнику тез і розміщено на сайті УкрДГРІ. Кожен учасник зможе отримати друкований збірник тез.

З повагою та найкращими побажаннями,
секретаріат ГЕОФОРУМ-2020

Зур'ян Олексій Володимирович
Колісник Тетяна Єрофіївна
Ковтун Олександр Васильович





ВІТАЄМО З ЮВІЛЕЄМ АКАДЕМІКА НАНУ ОЛЕКСАНДРА ЮХИМОВИЧА ЛУКІНА!

5 лютого 2020 року виповнилося 80 років відомому в Україні та за її межами вченому-геологу, академіку НАН України Олександрові Юхимовичу Лукіну.

О. Ю. Лукін – визнаний фахівець у галузі загальної й регіональної геології, нафтогазової геології та літології. Він розробив нові напрями пошуково-розвідувальних робіт щодо визначення покладів нафти й газу, запропонував і впровадив у виробництво понад 80 рекомендацій на проведення геофізичних досліджень і буріння на перспективних структурах, брав активну участь у відкритті нових нафтогазоносних комплексів, зон нафтогазонакопичення та багатьох родовищ вуглеводневої сировини. Дослідження Олександра Юхимовича відіграли значну роль в обґрунтуванні перспектив нафтогазоносності горизонтів глибокого залягання Дніпровсько-Донецької западини, рифогенно-карбонатних комплексів, неантиклінальних і комбінованих пасток Східного, Західного й Південного нафтогазоносних регіонів України, а також у розробленні методів прямих пошуків нафти й газу.

1970 року Олександр Юхимович захистив у Харківському державному університеті кандидатську дисертацію на тему “Формации и вторичные изменения каменноугольных отложений Днепровско-Донецкой впадины (в связи с нефтегазоносностью)”, видана на її основі монографія на тривалий час фактично стала довідником з нафтогазової літології карбонів відкладів ДДЗ. 1990 року в ІГН НАН України О. Ю. Лукін захистив докторську дисертацію, у якій концептуально викладено основи нового напрямку геологічних досліджень – літогеодинамічного аналізу нафтогазоносних басейнів. Монографію “Литогеодинамические факторы нефтегазоаккумуляции в авлакогенных бассейнах”, підготовлену на базі докторської дисертації, відзначено премією імені В. І. Вернадського НАН України.

У 1971–1985 рр. учений керував низкою комплексних програм, розроблених відповідно до постанов Ради Міністрів УРСР. Завдяки реалізації цих програм було виділено нові зони нафтогазонакопичення в різновікових комплексах Дніпровсько-Донецького, Карпатського та Азово-Чорноморського регіонів. 1991 року О. Ю. Лукін став лауреатом Державної премії України.

Наукові інтереси О. Ю. Лукіна поширюються далеко за межі України. Його літологічні та нафтогазогеологічні дослідження Середньоширотного Приоб'я, Тімано-Печорської провінції, Західного Уралу, Східного Сибіру, В'єтнаму, різних районів Східноєвропейської платформи широко відомі геологічній спільноті.

До фундаментальних наукових досліджень Олександра Юхимовича, окрім розроблення основ літогеодинамічного аналізу, належать:

- виявлення низки нових особливостей геологічної будови, літології, палеогеографії, нафтогазоносності Дніпровсько-Донецького авлакогену;
- відкриття унікальних за своєю природою перехідних шарів на межі девону й карбону, турне й візе Дніпровсько-Донецької западини та обґрунтування їхнього існування як окремих нафтогазоносних комплексів;
- детальне літологічне та геохімічне вивчення гідрокарбонатів, визначення основних стратиграфічних рівнів їхнього нагромадження та ролі в нафтогазонакопиченні;
- розроблення принципово нової системно-прогнозної класифікації пасток (покладів) вуглеводнів з виділенням для ДДЗ нових морфогенетичних типів, наявність яких згодом було доведено пошуково-розвідувальними роботами;
- виявлення загальних закономірностей глибинної гідрогеологічної інверсії в нафтогазоносних басейнах;
- розробка теоретичних засад функціонування процесів екранування різноманітних вуглеводневих скупчень і їхньої диференціації за фазовим та хімічним складом;
- виділення різних типів епігенетичних змін нафтогазоносних осадових утворень і встановлення гіпогенно-алогенетичної метасоматичної природи вторинних колекторів на великих глибинах з визначенням головної сукупності критеріїв оцінки перспектив нафтогазоносності глибоких і надглибоких горизонтів;
- відкриття ін'єкційних упродовження глибинної вуглеводнево-полімінеральної речовини в тріщинах природного гідророзриву порід нафтогазоносних комплексів глибокого залягання, наявності в них різноманітних самородних елементів та їхніх сплавів, карбідів тощо – наслідків (трасерів) вторгнення суперглибинних флюїдів;
- виділення різних типів адіабатичної тріщинуватості та розробка оновленої класифікації діаклазів гірських порід;
- встановлення залежності між ізотопним складом водню різних сортів рідких вуглеводнів і геодинамічними умовами нафтогазонакопичення, виявлення низки нових ізотопно-геохімічних аспектів нафтидогенезу, розробка принципово нової схеми фазово-геохімічної зональності нафтидоносності;
- обґрунтування геосинергетичної концепції походження нафти й газу.

Для Олександра Юхимовича характерний тісний зв'язок наукових досліджень з прикладними розробками в галузі літології, палеогеографії, стратиграфії, фаціального та формаційного аналізу, загальних нафтогазогеологічних, тектоно-геодинамічних, геотермобаричних та флюїдодинамічних закономірностей формування осадово-породних (насамперед нафтогазоносних) басейнів. О. Ю. Лукін – автор і співавтор понад 350 наукових, 60 рукописних (фондових) праць, двох винаходів; виголосив понад 80 наукових доповідей на міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях, урядових та академічних засіданнях.

Багато часу Олександр Юхимович наділяє громадсько-науковій діяльності. Він є академіком та членом президії УНГА, експертом ДАК України та Комітету з державних премій України в галузі науки і техніки, членом редколегій низки наукових періодичних видань.

Своє 80-річчя ювіляр зустрічає сповненням нових ідей та задумів. Наукова громадськість, колеги й друзі щиро вітають Олександра Юхимовича з ювілеєм, бажають йому здоров'я, сімейного благополуччя, активного довголіття, натхнення та нових наукових відкриттів на благо України.

Держгеонадра запрошують інвесторів до участі в е-аукціонах!

Державна служба геології та надр України
провела два аукціони з продажу спецдозволів
на геологічне вивчення та розробку надр.

Перший аукціон, за дванадцятьма ділянками, відбувся 16 квітня. Унаслідок відкритих змагань вартість восьми проданих ліцензій сягнула **3 310 429 грн**, тоді як їхня початкова вартість становила **557 170 грн**. Водночас боротьба за три ділянки, а саме: Могилів-Подільську (пісковики), Буданівську-3 (пісковики) та Турбівську-1 (пісок), була найактивнішою та продемонструвала зростання вартості лотів у **60, 121 та 44** рази відповідно.

Ще чотири ділянки було виставлено на повторні торги із 50% дисконтом від початкової вартості, оскільки на них не з'явилося достатньої кількості учасників.



За результатами торгів спецдозвіл на ділянку надр у с. Сливине на Миколаївщині (підземні води) продали за **8 212 грн**, вартість спецдозволу на ділянку «Червона» (молібденові руди) під час торгів зросла до **2 500 000 грн**, ліцензія на Борисівську ділянку (глина, суглинки) — до **3 600 грн**. Загалом вартість лотів сягнула **2 511 812 грн**. Четверту ділянку — Іволжанське родовище — за пів місяця буде виставлено на перший «голландський» аукціон за методом покрокового зниження стартової ціни.

Другий аукціон, за десятьма об'єктами, пройшов 26 травня. Було продано вісім ліцензій на геологічне вивчення, у т. ч. ДПР ділянок з покладами бурштину, глини, граніту, підземних вод, пісковиків, кварцового піску, коаліну та пегматиту.

Державна служба
геології та надр України
<http://www.geo.gov.ua/>



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ГЕОЛОГІЇ ТА НАДР УКРАЇНИ

Загальна вартість проданих спецдозволів становить **32 107 581** грн. Найбільше зростання вартості ліцензії зафіксовано стосовно Жубровицького родовища (граніт), що проти початкової збільшилася у 23 рази й сягнула **2 051 000** грн. Водночас найвищу ціну було запропоновано за спецдозвіл на бурштинову ділянку «Біла» на суму **17 040 000** грн.

За двома лотами, Північною ділянкою Мазурівського родовища з покладами ніобієвих, танталових і цирконієвих руд, нефеліну й польового шпату та ділянкою підземних вод

Шебелинського родовища, аукціони не відбулися, оскільки на них з'явилося менш як два учасники. Ці два об'єкти впродовж 30 днів буде запропоновано на торги повторно з 50% дисконтом від початкової вартості.

Третій аукціон відбудеться **6 липня 2020 року**. На торги виставлено вісім вуглеводневих ділянок загальною площею понад **850 км²**. Їхні сукупні запаси та ресурси за попередніми обрахунками становлять приблизно **135 млн т** умовного палива.



Переможець:

1. Підписує протокол аукціону
2. Сплачує винагороду біржі-оператору
3. Укладає договір купівлі-продажу спеціального дозволу
4. Сплачує кошти до Держбюджету
5. Укладає угоду про умови користування надрами
6. Отримує спеціальний дозвіл

* При наявності експертного висновку ДНВП "Геоінформ України" строк опрацювання заяви 3 роб. дні. У разі його відсутності, до заяви додаються пояснювальна записка, оглядова карта, ситуаційний план, каталог географічних координат кутових точок, програма робіт (строк опрацювання заяви до 30 роб. днів)

** Передбачас у т.ч. визначення початкової вартості спецдозволу та обрахунок ціни геологічної інформації



Державна служба
геології та надр
України